



**ULISSES
DA FONSECA
NUNES**

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO
ESTRUTURAL DE UMA CASA EM BTC**



**ULISSES
DA FONSECA
NUNES**

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE UMA CASA EM BTC

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Prof. Dr. Aníbal Guimarães da Costa, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Prof. Dr. Humberto Salazar Amorim Varum, Professor Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Prof^a. Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa
Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor João Paulo Sousa Costa de Miranda Guedes
Professor Auxiliar da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade do Porto

Orientador

Prof. Doutor Aníbal Guimarães da Costa
Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar ao Professor Aníbal Costa, meu orientador, pelo apoio, incentivo, disponibilidade e ensinamentos, assim como pela confiança depositada no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Professor Humberto Varum, meu co-orientador, pelo apoio, entusiasmo, optimismo durante a realização desta dissertação.

Ao José Manuel Cunha, primo e amigo desde sempre, pela disponibilidade incondicional, pelo apoio, pelo entusiasmo e optimismo que demonstrou na construção.

Ao Engenheiro António Figueiredo por todo o apoio prestado na realização deste trabalho, sem o qual se tornaria difícil.

A Arquitecta Maria Emília Lima da CM de Aveiro, pela gentileza ao disponibilizar as plantas.

Ao pessoal afecto ao Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Engenheira Maria Carlos Figueiredo, e Vítor Rodrigues, pelo apoio na realização da casa em BTC.

Aos meus pais, aos meus irmãos, pela paciência e compreensão. Aos meus sobrinhos pelo afecto.

palavras-chave

BTC, comportamento estrutural, comportamento sísmico, terra, alvenaria de adobe.

resumo

A elevada percentagem de edifício construídos em terra em regiões de risco sísmico elevado leva à que a sua caracterização seja de grande importância e essencial para compreender estas estruturas, promover o seu reforço e salvaguardar vidas humanas. A caracterização de uma casa em BTC com tipologia típica da Ria de Aveiro, foi obtido através do princípio de deslocação de massas em paredes quando ocorre um sismo. Esse efeito foi obtido através da reprodução de uma casa à escala reduzida assente numa base reclinável. Considera-se o ensaio realizado, como cíclico, estático e semi-destrutivo.

keywords

BTC, structural behavior, seismic behavior, earth, adobe masonry.

abstract

The high percentage of earth buildings constructed in regions of high seismic risk requires their characterization which is important to understand these structures, promote their reinforcement and save human lives. The characterization of a typical Ria de Aveiro type of house in BTC was obtained through the principle of mass displacement of the walls. This effect was achieved by reproducing a building in a reduced scale on a base. The test has been performed as cyclical, static and semi-destructive.

“Ali, durante anos, durante séculos, o camponês tinha sábia e tranquilamente explorado este obvio material de construção, enquanto a nós, com as nossas leis modernas aprendidas nas escolas, nunca nos tinha passado pela cabeça que fosse possível utilizar um material tão insignificante como a terra numa criação tão seria como uma casa.”

Hassan Fathy, Arquitecto e urbanista Egípcio.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento e motivação	1
1.2	Objectivos.....	1
1.3	Estratégia.....	2
1.4	Estrutura da dissertação	2
2	CONSTRUÇÃO EM TERRA.....	3
2.1	A terra: material construtivo milenar	3
2.2	Conceito de terra.....	4
2.3	Técnicas construtivas em terra	5
2.3.1	A taipa	5
2.3.2	O Adobe.....	6
2.3.3	O tabique.....	6
2.4	Estabilização da terra	7
2.5	Disposições construtivas	8
2.5.1	Paredes.....	8
2.5.2	Coberturas.....	9
2.5.3	Revestimento.....	9
2.5.4	Soluções tradicionais de reforço	10
2.6	Construção em terra em Portugal	11
2.7	Construção em adobe no distrito de Aveiro	12
2.8	Comportamento sísmico de construções em terra	14
2.9	Recomendações para construção em terra face aos sismos.....	19
3	O BLOCO DE TERRA COMPRIMIDO (BTC).....	20
3.1	Composição do solo.....	21
3.2	Teor em água	22
3.3	Tipo e teor do estabilizante	23
3.4	Preparação	25
3.5	Prensagem	26
3.6	Cura.....	26
3.7	Aplicação em obra	27

3.8	Crêterios de dimensionamento para a construção em BTC	30
3.9	Regulamentos e normas em vigor	32
4	MODELO FÍSICO: CASA TÍPICA DA RIA DE AVEIRO	33
5	MODELO EXPERIMENTAL: REPRODUÇÃO DA CASA	35
6	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO	36
6.1	Seleção e nomenclatura das amostras	36
6.2	Ensaio expedito	37
6.3	Ensaio de laboratório	37
6.3.1	Peso volúmico solo aparente	37
6.3.2	Teste de sedimentação	38
6.3.3	Teor em água óptimo	38
6.3.4	Análise granulométrica	39
6.4	Propriedades e classificação do solo	40
7	PRODUÇÃO DO BTC.....	43
7.1	Composição da mistura para produção.....	43
7.1.1	Terra e areia.....	43
7.1.2	�gua.....	43
7.1.3	Cal.....	43
7.2	Preparação e mistura.....	44
7.3	Prensagem.....	45
7.4	Cura	46
7.5	Caracterização do BTC produzido	47
8	CONCEPÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL	49
8.1	Orientação e referenciação do modelo	49
8.2	O efeito de escala	50
8.3	Base de assentamento	50
8.4	Vãos de janelas e portas.....	51
8.5	Paredes.....	51
8.6	Cobertura	53
9	A CONSTRUÇÃO	55
9.1	Implantação.....	55
9.2	Vãos de janelas e portas.....	56

9.3	Levantamento das paredes	57
9.4	Argamassa de assentamento e reboco	60
9.5	Cobertura.....	61
9.6	Caiação	62
10	ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO.....	64
10.1	Princípio de base do ensaio estático	64
10.2	Descrição do protocolo de ensaio	65
10.3	Instrumentação do modelo.....	66
10.4	Nomenclaturas	68
11	COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA CASA EM BTC.....	70
11.1	Evolução do ensaio cíclico	70
11.2	Comportamento da Fachada W	71
11.2.1	No plano	71
11.2.2	Fora do plano	72
11.3	Comportamento da Fachada E	74
11.3.1	No plano	74
11.3.2	Fora do plano	75
11.4	Comportamento da Fachada N.....	76
11.4.1	No plano	76
11.4.2	Fora do plano	77
11.5	Comportamento da Fachada S	78
11.5.1	No plano	78
11.5.2	Fora do plano	79
11.6	Determinação da frequência natural por decremento logaritmo	80
11.7	Análise de resultados.....	84
11.7.1	Por ocorrência da fissuração	84
11.7.2	Por deslocamentos máximos.....	85
11.7.3	Por variação máxima de deslocamentos.....	85
12	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
12.1	Conclusão	86
12.2	Possíveis linhas de desenvolvimento futuro	87
	ANEXOS.....	88

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
REFERÊNCIAS FOTOGRÁFICAS	128

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1. Curva de teor em água ótimo do BTC da amostra 3	39
Gráfico 6.2. Curva de distribuição granulométrica.....	40
Gráfico 11.1. Lei de forças aplicadas ao modelo experimental.....	70
Gráfico 11.2. Gráfico típico do movimento oscilatório amortecido	80
Gráfico 11.3. Lei de deslocamento para o ciclo 1E nos topos das paredes.....	81
Gráfico 11.4. Ampliação dos picos.....	81
Gráfico 11.5. Regressão logaritmica do movimento oscilatório amortecido num impulso em 1E.	81
Gráfico A.1. Perfis de corte e planta da deformada da fachada W	108
Gráfico A.2. Lei de deslocamentos devido a F_E da fachada W	109
Gráfico A.3. Lei de deslocamentos devido a F_W da fachada W	109
Gráfico A.4. Lei de deslocamentos para cada fim de ciclo da fachada W.....	109
Gráfico A.5. Variação do deslocamento segundo EW da fachada W	109
Gráfico A.6. Perfis de corte e planta da deformada da fachada E	110
Gráfico A.7. Lei de deslocamentos devido a F_E da fachada E	111
Gráfico A.8. Lei de deslocamentos devido a F_W da fachada E.....	111
Gráfico A.9. Lei de deslocamentos para cada fim de ciclo da fachada E	111
Gráfico A.10. Variação do deslocamento segundo EW da fachada E.....	111
Gráfico A.11. Perfis de corte e planta da deformada da fachada N.....	112
Gráfico A.12. Lei de deslocamentos devido a F_N da fachada N.....	113
Gráfico A.13. Lei de deslocamentos para cada fim de ciclo da fachada N.....	113
Gráfico A.14. Perfis de corte e planta da deformada da fachada S	115
Gráfico A.15. Lei de deslocamentos devido a F_N da fachada S	115
Gráfico A.16. Lei de deslocamentos para cada fim de ciclo da fachada S	115
Gráfico A.17. Força NS versus deslocamento no topo da parede S	116
Gráfico A.18. Força EW versus deslocamento no topo da parede E.....	116
Gráfico A.19. Força EW versus deslocamento no topo da parede W.....	116
Gráfico A.20. Lei de deslocamento para 1E na fachada E (dados não filtrados).....	117
Gráfico A.21. Movimento oscilatório no topo da parede E	119
Gráfico A.22. Movimento oscilatório no topo da parede W	119

Gráfico A.23. Movimento oscilatório no topo da parede S	120
---	-----

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 6.1. Composição granulométrica das amostras	40
Quadro 6.2. Sistema de texturas dos solos.....	41
Quadro 6.3. Metodologia para aferir a aptidão de um solo para ser estabilizado segundo Burroughs.....	41
Quadro 6.4. Classificação e propriedades da amostra 3.	42
Quadro 6.5. Composição granulométrica da amostra 3.....	42
Quadro 7.1 Definição do traço da mistura para produção de BTC	43
Quadro 7.2. Propriedades físicas do BTC.....	48
Quadro 7.3. Baridades para produção de BTC segundo CRAterre[10]	48
Quadro 10.1. Ciclos e forças correspondentes do ensaio.	65
Quadro 10.2. Nomenclatura de forças aplicadas.....	69
Quadro 10.3. Nomenclatura de registo de danos	69
Quadro 10.4. Classificação do tipo de fissuras.	69
Quadro A.1. Tensão admissível segundo CRAterre.....	91
Quadro A.2. Análise granulométrica da amostra 1: Selecção A.....	93
Quadro A.3. Análise granulométrica da amostra 2: Mistura de selecção A e areia (1:2) ..	93
Quadro A.4. Análise granulométrica da amostra 3: Mistura de selecção B e areia (2:1) ..	94
Quadro A.5. Composição granulométrica das amostras.....	94
Quadro A.6. Massa volúmica seca das amostras “in situ”	94
Quadro A.7. Uniformidade e curvatura das curvas granulometricas.	95
Quadro A.8. Teor em água óptimo da amostra 3 por compactação estática.....	95
Quadro A.9. ensaio de compressão do BTC pela NBR8492 [4].....	96
Quadro A.10. Determinação da resistência característica do BTC produzido.....	97
Quadro A.11. Resumo da análise da casa por ordem cronológica	118
Quadro A.12. Quadro resumo das frequências e módulo de elasticidade por fachada	120
Quadro A.13. determinação do peso total da casa	121
Quadro A.14. Propriedades físicas e geométricas das paredes.	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. a) Mesquita de Bobodjulasso, Burkina Faso. b) Cidade de Arg-é Bam, Irão [16].	3
Figura 2. Distribuição mundial de construção em terra[17].	4
Figura 3. a) Execução de uma parede de taipa, Alto Atlas marroquino[16]. b) Muralha da China [33].	5
Figura 4. a) Fabrico de adobe em Sheikh Zayed, Faixa de Gaza[16]. b) Mesquita de Djenna, no Mali [34].	6
Figura 5. Representação de uma parede em tabique de terra na região de Trás-os-Montes e Alto Douro. [15]	7
Figura 6. Shibam no Yemen [36]	8
Figura 7. Coberturas planas de palha e terra no Alto Atlas marroquino [16]	9
Figura 8. a) Execução de um reboco "à mão", Índia. b) Reboco <i>esgrafitado</i> em Timimoun, Argélia[16]	10
Figura 9. Distribuição das técnicas construtivas em terra em Portugal.[3]	11
Figura 10. Respectivamente: Museu da Cidade, Casa de Turismo Rota da Luz, Casa Cooperativa Agrícola e Casa Major Pessoa [37]	12
Figura 11. Antiga estação ferroviária de Aveiro [38]	13
Figura 12. Fábrica Centro Ciência Viva e Quartel da Guarda Nacional Republicana de Aveiro [39]	13
Figura 13. Distribuição das zonas com actividade sísmica com intensidades altas e moderadas. [17]	14
Figura 14. a) Carta de isossistas em Portugal pela EMS98. b) Últimos sismos registados (Set. a Out. 2013).	15
Figura 15. Sismo de Lisboa em 1755. [40]	16
Figura 16. Principais tipos de fissuras. [23]	16
Figura 17. Influência da direcção da acção sísmica na deformação e fissuras características. [24]	17
Figura 18. Influência da eficiência das ligações dos panos na deformação. [24]:	17
Figura 19. Influencia dos lintéis na fissuração em casas de BTC. [11]	17
Figura 20. Causas típicas de rotura em casas de terra. [25]	18
Figura 21. Roturas típicas em casas de terra. [25]	19

Figura 22. Primeira prensa manual CINVA-RAM. [43]	20
Figura 23. BTC idealizado por Mattone [1].....	27
Figura 24. Formatos comuns de BTC [41]	28
Figura 25. Técnica construtiva para pequenas habitações em BTC na favela do Paraíba, Brasil [1]	28
Figura 26. Construção de vivenda de luxo em BTC, Brasil. [42]	29
Figura 27. Principais recomendações geométricas para paredes em adobe.	30
Figura 28. Critérios de dimensionamento segundo CRAterre[11].....	31
Figura 29. Frente e parede lateral esquerda da construção original.	33
Figura 30. Respectivamente: Alçado principal, posterior e lateral esquerdo da construção original.....	34
Figura 31. Plantas e cortes da construção original ²⁰	34
Figura 32. Aspecto do solo da selecção B.	36
Figura 33. Teste de sedimentação da selecção B.	38
Figura 34. Peneiros normalizados ISO 3310-1:2000	39
Figura 35. Crivagem e desagregação do solo	44
Figura 36. Prensa manual TERSTARAM	45
Figura 37. Arrase da moldagem, calcagem dos cantos, e manipulação do BTC[10].....	45
Figura 38. Sequência de produção do BTC.	46
Figura 39. Cura por via húmida dos BTC.....	47
Figura 40. Aspecto final do BTC depois da cura	47
Figura 41. Descrição e orientação do modelo experimental.....	49
Figura 42. Designação dos vãos de janela e portas.	49
Figura 43. Báscula/Plataforma “antes e depois”	50
Figura 44. Planta de implantação da casa.....	50
Figura 45. Dimensões e designação dos vãos de janela e portas.	51
Figura 46. Estereotomia das paredes Sul e Oeste, e mapa de quantidades.	52
Figura 47. Configuração das paredes	52
Figura 48. Modelo e esquema da estrutura de cobertura	54
Figura 49. Perfis UPN e implantação dos vãos de porta	55
Figura 50. Assentamento da 1ª fiada de blocos.	55
Figura 51. Pré-montagem e colocação da armação de vão de janela.	56

Figura 52. Armações dos vãos na fachada sul e oeste.	56
Figura 53. Assentamento da primeira fiada de blocos	57
Figura 54. Parede E com aparelho “ao cutelo”	57
Figura 55. Parede S com aparelho “à meia vez”	58
Figura 56. Amarração nos cunhais e encontros de parede	58
Figura 57. Assentamento de blocos	59
Figura 58. Aspecto final do levantamento das paredes.	59
Figura 59. Aspecto final do reboco.	60
Figura 60. Pré-montagem da estrutura da cobertura	61
Figura 61. Elevação e aspecto final da estrutura da cobertura.	61
Figura 62. Aplicação das telhas	62
Figura 63. Aspecto final da cobertura.	62
Figura 64. Aspecto final da casa	63
Figura 65. Modulo não reforçado (a) e reforçado (b) no primeiro ensaio estático em 1973. [28]	64
Figura 66. Princípio de base do ensaio	65
Figura 67. Sequência de um ciclo	66
Figura 68. Mapa de sensores da fachada W.	67
Figura 69. Mapa de sensores da fachada E	67
Figura 70. Mapa de sensores de fachada S e N	67
Figura 71. Mapa de sensores da base de assentamento.	68
Figura 72. Suporte da instrumentação.	68
Figura 73. Mapa de danos da fachada W e sua deformada	71
Figura 74. Danos significativos da fachada W	72
Figura 75. Mapa de danos da fachada E e sua deformada.	74
Figura 76. Danos significativos da fachada E	74
Figura 77. Mapa de danos da fachada N e sua deformada.	76
Figura 78. Danos significativos da fachada N	76
Figura 79. Mapa de danos da fachada S e sua deformada.	78
Figura 80. Linha de rotura da fachada S	78
Figura 81. Alçados W, E e N do modelo experimental e verificação das dimensões segundo CRAterre	89

Figura 82. Alçados S e empena, e verificação das dimensões segundo CRAterre	90
Figura 83. Planta de cobertura do corpo e anexo da casa.	91
Figura 84. Alçados das asnas da cobertura	92

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e motivação

Em Portugal, a construção em alvenaria resistente em adobe encontra na região de Aveiro a sua maior implantação. Impulsionada em finais do séc. XIX, teve o seu auge na primeira metade do séc. XX, mas veio sendo gradualmente abandonada até ao seu desaparecimento como técnica construtiva. É evidente o nível de degradação e abandono patente nas construções em adobe da região de Aveiro. Actualmente, as várias campanhas de investigação efectuadas na Universidade de Aveiro sobre a construção em terra, permitem justificar melhor a opção de reabilitar em vez de demolir, principalmente em Aveiro.

No entanto, com a escassez de regulamentação sobretudo a nível europeu, são necessários estudos técnicos para aperfeiçoar a calibração de modelos numéricos e avaliação da segurança dessas construções. Assim, a caracterização mecânica dos blocos de adobe e das argamassas, bem como das próprias alvenarias em adobe, são instrumentos fundamentais na interpretação das patologias estruturais mais comuns. A determinação de propriedades tais como o módulo de elasticidade, a resistência à compressão, à tracção e ao corte ou a sua composição são fundamentais para o apoio à realização de projectos de reabilitação e reforço deste tipo de alvenaria resistente.

1.2 Objectivos

Pretende-se com este estudo contribuir para uma melhor caracterização do comportamento estrutural das construções existentes em adobe na região de Aveiro quando sujeito a solicitações horizontais. Informação essa que permitirá a interpretação das patologias estruturais mais comuns, calibração de modelos numéricos, avaliação da segurança e desenvolvimento de soluções de reforço adequadas. O elemento tema e objecto da dissertação é o adobe numa versão mais moderna: o bloco de terra comprimido (BTC).

1.3 Estratégia

A caracterização do comportamento estrutural da construção em adobe ou especificamente em BTC, consistirá no estudo de uma casa real da região de Aveiro quando sujeito a solicitações horizontais, simulando o sismo. Para esse efeito será reproduzida uma casa com tipologia típica de casas da Ria de Aveiro, à escala reduzida, em BTC, sobre uma plataforma reclinável no laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. A produção, concepção e construção será baseada essencialmente nas recomendações e normas da organização francesa CRAterre.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação tende em seguir uma sequência lógica para um melhor entendimento do tema, indo do teórico para prática (ou experimental), do geral para o específico. Assim, este trabalho está estruturado essencialmente em 2 componentes. A componente teórica que vai do capítulo 1 à 4 e a componente prática, do capítulo 5 à 12:

- A componente teórica pretende compilar toda a informação existente sobre temas que envolvem o estudo em causa com apoio bibliográfico, são eles a construção em terra no mundo em geral e em Aveiro em específico, a problemática do comportamento sísmico e o bloco de terra comprimido.
- O capítulo 4 e 5 fazem a transição da componente teórica para prática e descreve resumidamente a construção de origem e sua reprodução no laboratório.
- A componente prática relata todo processo experimental, baseando-se na componente teórica. Abrange a produção, concepção, construção da casa, e o ensaio de caracterização do comportamento estrutural da casa em BTC.

2 CONSTRUÇÃO EM TERRA

2.1 A terra: material construtivo milenar

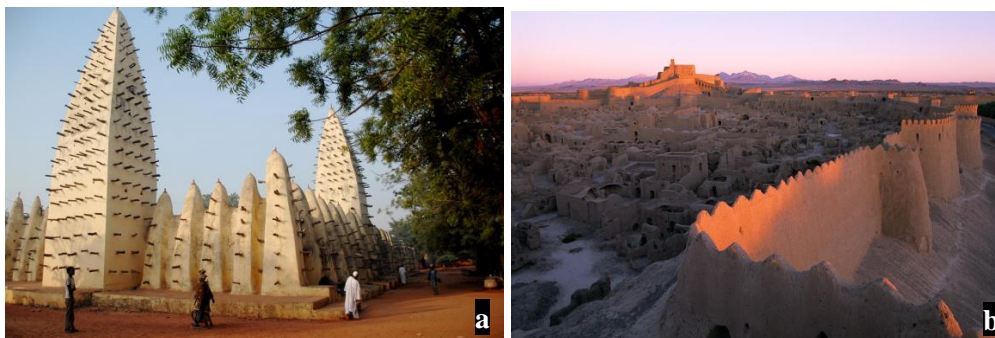


Figura 1. a) Mesquita de Bobodjulasso, Burkina Faso. b) Cidade de Arg-é Bam, Irão ¹[16]

A arquitectura tradicional de terra é resultado do acumular de saberes milenares, em que o homem utiliza o material retirado da natureza e o aplica para construir os seus edifícios segundo técnicas que tiram partido das suas características e potencialidades. Estima-se que esta técnica se tenha generalizado há cerca de 10.000 anos a partir do Médio Oriente. Essas técnicas mudam de local para local, não só em termos construtivos, mas sobretudo estéticos, assumindo cada uma delas uma identidade geográfica própria, que relaciona a sociedade, o edificado e o meio ambiente.

Actualmente, podemos observar duas correntes no uso da terra como material construtivo: Enquanto nos países subdesenvolvidos, devido a escassos recursos financeiros, construir em terra constitui um meio para a sobrevivência e uma forma mais económica para que a população tenha uma habitação, nos países desenvolvidos as populações estão a redescobrir o benefício deste material pelos incentivos da investigação e instituições de pesquisa, nomeadamente a CRAterre², Centro da Terra, e PROterra. [20]

¹ Maior construção de adobe do mundo, datando 500 A.C. Em 2003 foi destruída quase por completo por um sismo.

² Organização não governamental, criado pelo francês Jean Dethier, considerado um grupo referencia na área de construção em terra.

A terra enquanto material de construção encontra-se presente por todo o mundo, impondo-se como processo construtivo tradicional dominante, pela facilidade com que é aplicada, pela resistência à compressão que confere aos edifícios, e pelo conforto que proporciona. Estima-se que actualmente mais de 1/3 dos habitantes do planeta vivam em construções de terra [16] (Figura 2).



Figura 2. Distribuição mundial de construção em terra[17].

2.2 Conceito de terra

A terra, como material construtivo, refere-se ao solo não orgânico existente entre a terra vegetal e a rocha, localizado à uma profundidade que varia de local para local.

É constituída principalmente por argila, silte, areia e cascalho, aos quais se encontram associados em percentagens mínimas, os metais, sais solúveis, como sulfatos, nitratos e cloretos, e matéria orgânica.

A argila e o silte constituem o ligante do material, que lhe confere o poder de agregação, enquanto a areia e a brita constituem o seu inerte, fundamental para que contraia e dilate, por força das variações de temperatura ou em presença da água, sem sofrer fissurações. O equilíbrio entre ligante e inerte na constituição da terra é assim fundamental para a sua eficácia em termos construtivos.

A dosagem dos seus componentes para fins construtivos, varia de autores para autores, situando-se entre 15 à 18% de argila, 10 à 28% de silte e 55 à 75% de areia e 0 à 15% de cascalho. A resistência mecânica à compressão varia entre 1 à 3 MPa. [16]

2.3 Técnicas construtivas em terra

Entre as técnicas mais utilizadas, destacam-se a taipa o adobe e o tabique.

2.3.1 A taipa



Figura 3. a) Execução de uma parede de taipa, Alto Atlas marroquino[16]. b) Muralha da China³ [33]

É uma técnica de construção monolítica com aplicação de um solo mais seco, de consistência de terra húmida, compactado através de um pilão ou com um compressor pneumático, entre taipais (tradicionalmente tábuas de madeira). Cada metro cúbico de terra *apiloada* reduz o seu volume em cerca de 1/3, e quanto melhor compactada é, maior é a resistência conferida à parede que forma. O taipal vai sendo deslocado ao longo das paredes, formando blocos que se dispõem com as juntas verticais descentradas (Figura 3a). Ao secar, endurece, apresentando uma consistência semelhante às argamassas de cimento. Esta técnica encontra-se com mais frequência onde a água não abunda e em solos pedregosos, grossos e secos, geralmente pobres em argila. A sua inércia térmica, devido à elevada espessura das paredes (aproximadamente 50cm), confere-lhe funções de regulador climático. [16]

³ Parte dos 9000km da Muralha da China foi feita utilizando a técnica da taipa, perdurando por mais de 2000 anos.

2.3.2 O Adobe

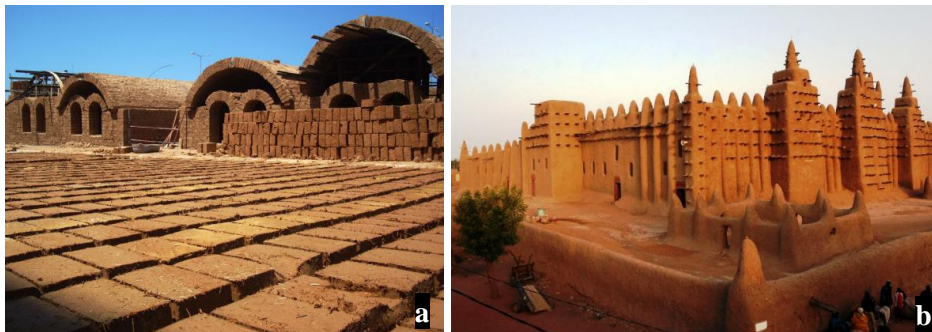


Figura 4. a) Fabrico de adobe em Sheikh Zayed, Faixa de Gaza[16]. b) Mesquita de Djenna, no Mali⁴ [34]

O adobe é o processo utilizado em solos arenosos, finos e húmidos, geralmente ricos em argila, próprios dos vales e zonas ribeirinhas. Tendo em conta que o processo de secagem do adobe origina a fissuração por retracção do material, pelo seu elevado conteúdo de ligante e de humidade, o material é armado através da incorporação de fibras vegetais suficientemente finas para não originar vazios no seu interior, como sejam as fibras de arroz, sisal ou cânhamo [16].

2.3.3 O tabique.

São normalmente paredes divisórias ou de compartimentação, dividindo os espaços, e limitadas pelas paredes-mestras.

Este tipo de paredes de um modo geral num edifício antigo desempenha funções estruturais importantes, devido à sua organização especial. Mesmo que não recebam directamente cargas verticais, estas paredes têm um importante papel no travamento geral das estruturas, mediante a interligação entre paredes, pavimentos e coberturas, decisiva para a capacidade resistente global do edifício.

As paredes de tabique são obtidas pela pregagem de um fasquiado sobre tábuas colocadas ao alto, sendo o conjunto revestido em ambas as faces, com terra . O tabique de terra é um exemplo de parede característica da região de Trás-os-Montes e Alto Douro. (Figura 5) [15][16]

⁴O maior edifício de adobe do mundo.



Figura 5. Representação de uma parede em tabique de terra na região de Trás-os-Montes e Alto Douro. [15]

2.4 Estabilização da terra

A colocação da terra em obra implica que as suas características sejam melhoradas, reduzindo a sua porosidade e permeabilidade, e aumentando a sua resistência mecânica. Chama-se a este processo estabilização da terra, que, em termos práticos, procura reduzir o volume de ar existente, colmatá-lo, e reforçar a ligação entre as partículas.

A estabilização da terra obtém-se de diversas maneiras:

- a) Estabilização por compactação: É a base da construção em taipa, e que consiste na redução do volume do material através da sua prensagem. Este tipo de estabilização começou a ser muito utilizada a partir dos anos 50 no fabrico de blocos de terra comprimido (BTC), utilizando-se prensas manuais, próprias para a autoconstrução, ou prensas hidráulicas, muito utilizadas em projectos colectivos.
- b) Estabilização por armação: Utilizada geralmente no fabrico de blocos de adobe, que consiste na incorporação de fibras orgânicas no material, numa quantidade não superior à 3%, aumentando a sua resistência à tracção, aligeirando a sua massa e evitando a sua fissuração.
- c) Estabilização por correcção de granulometria: Consiste em conferir ao material melhor graduação ao nível do tamanho das partículas que o constituem, acrescentando por exemplo areia à terra argilosa.
- d) Estabilização físico-química: Consiste na introdução de elementos ligantes e hidrófugos, como o cimento, a cal, ou o betume, e alguns estabilizantes de origem vegetal ou animal, como sejam a goma-arábica, o látex, o óleo de coco, o óleo de

algodão, o sangue de boi, o sebo de porco ou de carneiro, as cinzas de madeira. Recentemente utilizam-se também alguns detritos industriais, como ácidos, resinas ou silicatos [16].

2.5 Disposições construtivas



Figura 6. Shibam no Yemen⁵ [36]

2.5.1 Paredes

A espessura das paredes das construções em terra pelas técnicas tradicionais, varia entre os 40 e 60 centímetros. Esta espessura é obtida no caso da taipa pelo comprimento das *agulhas* do taipal. No caso do adobe, a espessura da parede obtém-se através das dimensões dos blocos e relação entre o seu comprimento e largura, sendo comum em Portugal blocos com 40x20x15, que podem ser dispostos de várias formas na parede. As paredes de terra são construídas sobre uma fundação de pedra, que deve elevar-se acima do nível do terreno, evitando o seu contacto com o solo e eventuais efeitos de subida das humidades por capilaridade. Em edifícios de múltiplos pisos, a espessura das paredes diminui com a altura, garantindo uma maior resistência nos pisos inferiores e permitindo o apoio dos pavimentos nos ressaltos entre pisos. As paredes dos edifícios de construção com terra são estruturais, suportando o peso do telhado sem necessidade de introdução de qualquer estrutura de apoio. Esta grande capacidade de resistência à compressão e consequente bom comportamento estrutural, depende das regras de dimensionamento que ao longo dos séculos o homem aperfeiçoou.

⁵ Conhecida como a *Manhattan do Deserto*, onde os edifícios atingem os 11 pisos.

Dessas regras ressaltam a necessidade de as construções terem uma configuração o mais regular possível, para que os esforços se distribuam de forma igual por todo o edifício e não se criem pontos de concentração de cargas. Devem evitar-se paredes demasiado compridas, altas e desapoiadadas, sendo fundamental que sejam intersectadas por outras. Os vãos das aberturas devem situar-se no centro das paredes, onde os esforços à que estão sujeitas são menores, e as coberturas devem ser o mais leve possível, conferindo ao edifício uma maior massa na base e não no topo. [16]

2.5.2 Coberturas

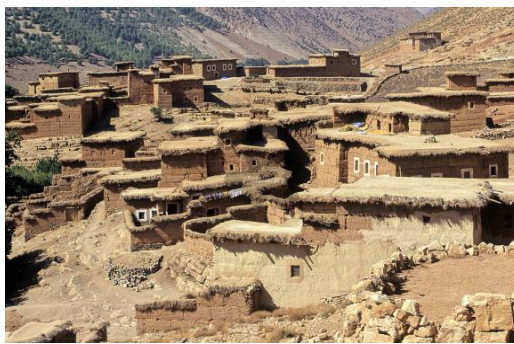


Figura 7. Coberturas planas de palha e terra no Alto Atlas marroquino [16]

As soluções tradicionais para coberturas são geralmente baseadas em estruturas de madeira, sobre as quais se coloca um revestimento.

Nas coberturas inclinadas utilizam-se revestimentos com telhas cerâmicas ou colmo, enquanto nas coberturas planas a estrutura é coberta com canas, sobre as quais se colocam fibras vegetais e terra, constituindo uma superfície visitável. [16]

2.5.3 Revestimento

Geralmente as paredes são acabadas com a aplicação de um reboco, constituído por uma argamassa de características idênticas à da utilizada no suporte, mas com maior percentagem de areia, para que absorva os movimentos de dilatação e contracção sem fissurar. Ao contrário, a argamassa utilizada para ligar os blocos entre si, seja nas juntas da taipa ou no assentamento dos blocos de adobe, é mais rica em argila que à do suporte para garantir o seu poder ligante.



Figura 8. a) Execução de um reboco "à mão", Índia. b) Reboco *esgrafitado* em Timimoun, Argélia[16]

Por sua vez o reboco é muitas vezes caiado, com a utilização do chamado *leite de cal*, operação que tem uma função não só de limpeza e desinfecção da parede, mas também de consolidação da própria argamassa.

As argamassas de reboco são também geralmente estabilizadas com materiais hidrófugos, com vista à sua impermeabilização. Em Portugal é comum a adição dos desperdícios de lagares de azeite, sebo de porco ou carneiro, ou sangue de boi. [16]

2.5.4 Soluções tradicionais de reforço

A generalidade das construções tradicionais, sejam de terra ou pedra reagem mal aos esforços de tracção, ou seja, aos movimentos horizontais ou laterais, provocados, por exemplo, por sismos.

Nas habitações rurais observam-se os contrafortes de forma triangular, que têm como objectivo evitar que as paredes se desloquem para o exterior, movimento que é acentuado pelo peso do telhado.

A pedra e o tijolo cozido são muitas vezes utilizados nas construções de taipa para reforçar os cunhais, zonas geralmente mais sujeitas ao desgaste que o resto da parede.

As paredes divisórias interiores eram utilizadas como contraventamento das paredes de fachadas.

Um outro procedimento de reforço passava pela execução de uma eficiente ligação dos pavimentos e/ou coberturas às paredes.

Existem muitas soluções tradicionais de reforço das construções de terra, baseadas na utilização de elementos vegetais, como vigas de madeira, bambus ou fibras, ou metálicos, desde perfis à varões, passando por redes e pelo próprio arame farpado, aplicados

principalmente na zona superior das paredes, com o objectivo de evitar o descolamento entre si e o seu desaprumo. [16]

2.6 Construção em terra em Portugal

Em Portugal o material de construção dominante até ao século VIII era a pedra, apesar de anteriormente já existirem algumas construções isoladas com a utilização da terra. Com a chegada dos Árabes, mestres da construção com terra, o seu uso generaliza-se e passa a ser o material de construção dominante.

O uso da terra como material construtivo estendeu-se até meados do século XX. As novas técnicas mais industriais, que levaram à ruptura do conhecimento transmitido de geração em geração, travaram o desenvolvimento da técnica, da realização e do conhecimento, bem como a reabilitação e reforço.

Em Portugal, a construção em terra aparece em zonas de norte a sul do país, tal como a zona aluvionar do Baixo Douro, Castelo Branco, Baixo Alentejo e Algarve.

Em termos de distribuição no país das várias técnicas construtivas, a taipa impera à sul, o tabique no interior centro e norte, e o adobe no centro litoral, nomeadamente no distrito de Aveiro onde se encontra a sua maior implantação. (Figura 9)

Embora a construção em terra tenha maior expressão nos edifícios de habitação, encontram-se exemplos de palácios, castelos, torres, igrejas e muralhas como por exemplo as muralhas de Castelo de Silves, Tavira, Alcácer, Paderne e Salir. [3][18][19][20][21]

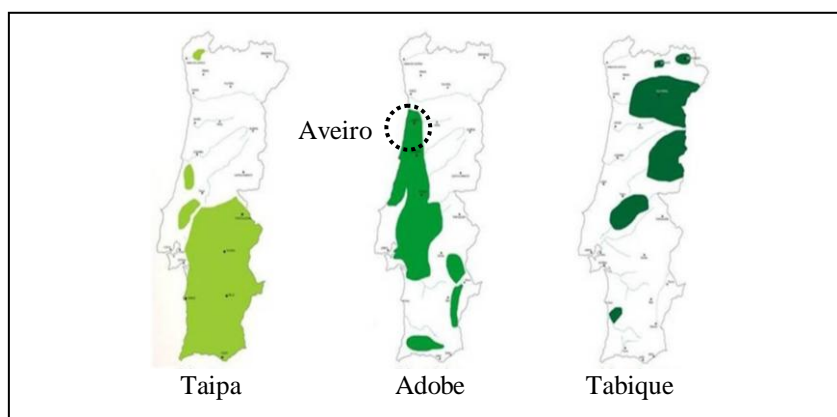


Figura 9. Distribuição das técnicas construtivas em terra em Portugal.[3]

2.7 Construção em adobe no distrito de Aveiro

Devido às técnicas de construção tradicionalmente utilizadas no período em que a corrente artística e arquitectónica Arte Nova⁶ surgiu em Aveiro, a maioria dos edifícios deste estilo na região foram construídos em alvenaria de blocos de adobe. Representa-se na figura seguinte os edifícios mais notáveis de Arte Nova com valor patrimonial e arquitectónico, em adobe, da cidade de Aveiro, considerada a capital da Arte Nova em Portugal.



Figura 10. Respectivamente: Museu da Cidade, Casa de Turismo Rota da Luz, Casa Cooperativa Agrícola e Casa Major Pessoa⁷ [37]

De acordo com dados técnicos da CM de Aveiro, as construções em adobe representam cerca de 25% do edificado na cidade de Aveiro, e estima-se na ordem do 40% no distrito. O uso do adobe como técnica construtiva na cidade deve-se principalmente às matérias-primas existentes. O adobe era constituído pelos solos argilosos da ria, quando produzidos na sua vizinhança, e por solos mais arenosos quando produzidos em zonas mais afastadas da Ria. Eram respectivamente estabilizadas pela própria argila ou pela adição da cal.

⁶ Corrente que surge no início do século XX em Portugal pela mão do Arquitecto Silva Rocha. Evidencia-se pelo seu carácter ornamental de linhas curvas inspirado pela natureza.

⁷ Projecto do Arquitecto Silva Rocha com Ernesto Korrodi entre 1907 e 1909. Classificado pelo Instituto Português do Património Arquitectónico como imóvel de interesse público.

O parque construído em adobe no distrito de Aveiro, detêm ainda um património com vasto leque de edifícios construídos com paredes resistentes, onde muitos deles se encontram ainda em funcionamento, nomeadamente igrejas, casas de espectáculo, fornos de cal, fábricas, armazéns, muros delimitadores de propriedades e casas rurais.

Representa-se nas figuras seguintes, alguns exemplos de edifícios em funcionamento reabilitados, em adobe.



Figura 11. Antiga estação ferroviária de Aveiro [38]



Figura 12. Fábrica Centro Ciência Viva e Quartel da Guarda Nacional Republicana de Aveiro [39]

Nas zonas rurais, havia a preocupação em orientar as casas à sul, provendo-as de maiores ganhos solares, tal como os anexos e as dependências agrícolas. As habitações são geralmente compostas por um corpo rectangular principal, compostas unicamente por um piso térreo e em caso de necessidade de criar novos espaços era feita uma ampliação na horizontal. Nas zonas urbanas predominam habitações de 2 pisos. (ver Capítulo 4) [3][18][19][20][21]

2.8 Comportamento sísmico de construções em terra

Os diversos sismos que afectaram a construção em terra, demonstram a vulnerabilidade sísmica que existe associada a este tipo de construção quando não é devidamente reforçada.



Figura 13. Distribuição das zonas com actividade sísmica com intensidades altas e moderadas. [17]

Por observação da Figura 2 (Distribuição mundial de construção em terra) e Figura 13 (Distribuição das zonas com actividade sísmica com intensidades altas e moderadas), existe uma coincidência em que as construções em terra são comuns em regiões do Mundo onde a perigosidade sísmica é relativamente elevada, como na América Latina⁸, África, Ásia (particularmente na Índia), Médio Oriente⁹ e Sul da Europa¹⁰.

O estado actual dos conhecimentos sobre a acção sísmica indica que, a nível mundial, a perigosidade sísmica do território Nacional é moderada. Esta perigosidade é um dos factores que contribui para avaliar o risco sísmico de Portugal que é condicionada por outros factores fundamentais, nomeadamente vulnerabilidade dos elementos expostos do parque edificado.

⁸ Sismo de El Salvador, em Janeiro e Fevereiro de 2001. Sismo de Huaraz, no Perú, em 1970

⁹ Sismo de Bam, no Irão, em 26 de Dezembro de 2003, arruinando o histórico Arg-é-Bam (Figura 1b)

¹⁰ Sismo de Bolonha, na Itália, em Maio 2012.

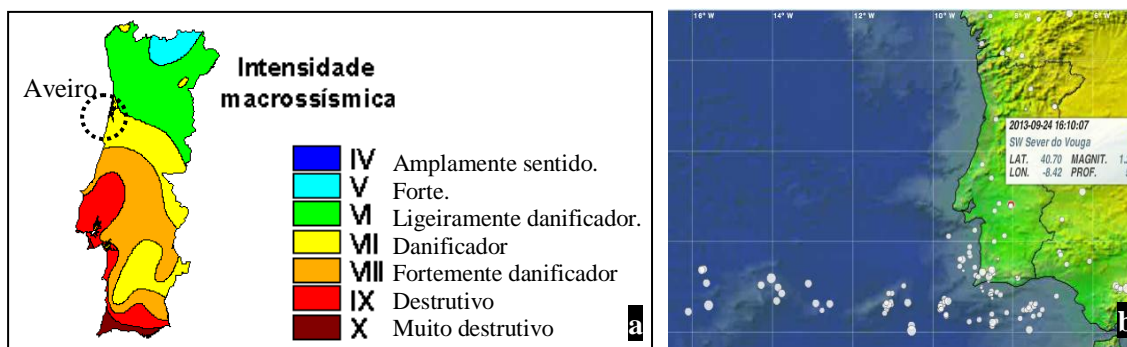


Figura 14. a) Carta de isossistas em Portugal pela EMS98.¹¹ b) Últimos sismos registados (Set. a Out. 2013)

A carta das isossistas¹² máximas observadas em Portugal até à actualidade (Figura 14), permite-nos concluir que o risco sísmico no continente é elevado: as maiores concentrações demográficas situam-se no seu litoral, precisamente nas áreas de maiores intensidades sísmicas observadas. [22]

O distrito de Aveiro fica localizado numa região de perigosidade sísmica moderada e onde a natureza dos solos de fundação é geralmente mole. Por consequente, eventuais sismos que flagelem a região poderão ser consideravelmente amplificados, causando graves danos nas estruturas. [20]

Historicamente, o desempenho das construções em terra durante os movimentos sísmicos é muito débil, devido à sua fraca capacidade de resistência à tracção e ao seu comportamento frágil. Em geral, não se encontram adequadamente reforçadas para resistir à acção sísmica, nem devidamente conservadas e adaptadas às actuais exigências, sofrendo de anomalias estruturais e não estruturais.

A elevada vulnerabilidade é essencialmente devida à ausência das ligações adequadas entre as várias partes: paredes, pavimentos, cobertura. Importante referir que os processos de envelhecimento e factores ambientais tornam também as construções ainda mais vulneráveis às acções dinâmicas. [20][23]

¹¹ A Escala Macrossísmica Europeia de 1998, constitui um padrão europeu de avaliação dos efeitos de um sismo sobre as construções, substituindo a Escala de Mercalli e outras escalas similares. A EMS98 tem 12 graus, desde sismo “não sentido” ao “devastador”.

¹² Linhas que delimitam zonas de igual intensidade sísmica. Depende das rochas atravessadas pelas ondas, e o tipo de construções.

Segundo Varum H. (2005), a resistência à compressão numa estrutura de terra varia entre 0.5 e 2.0 MPa e a resistência à tracção é cerca de 20% da resistência à compressão.



Figura 15. Sismo de Lisboa¹³ em 1755. [40]

As estruturas sujeitas à um sismo, são afectadas por forças horizontais que solicitam às paredes de alvenaria esforços de flexão e de corte. Após a formação das fissuras, a ocorrência de grandes deslocamentos para fora do plano da parede conduz à desintegração das paredes, queda de cunhais e dos tectos e ainda ao potencial colapso do telhado por falta de apoio, levando assim ao colapso da estrutura de forma agressiva. A figura seguinte ilustra as principais fissuras caracterizadas por tracção (a), corte (b) e flexão (c,d,e):

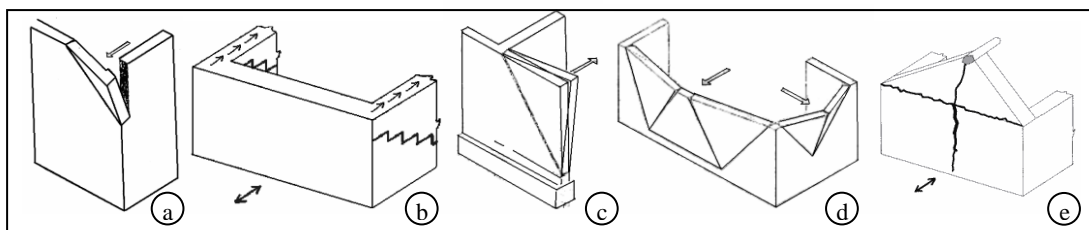


Figura 16. Principais tipos de fissuras. [23]

- a) As fissuras de tracção estão associadas à separação vertical entre paredes perpendiculares, causadas pela deficiência da transferência de cargas. Os cunhais são os elementos mais solicitados pela elevada concentração de tensões.

¹³ O Sismo de 1755, resultou na destruição quase completa da cidade de Lisboa. Foi seguido de um maremoto tendo feito mais de 10 mil mortos. Geólogos estimam que tenha atingido a magnitude 9 na escala de Richter.

- b) As fissuras de corte caracterizam-se por serem diagonais, ou em X, devido ao carácter cíclico da acção sísmica. Actuam no plano da parede e provocam neste plano, uma diminuição bastante significativa da rigidez. São estas fissuras que facultam e potencializam o colapso das paredes para fora do plano.
- c) d) e) As fissuras de flexão resultam de solicitações sísmicas perpendiculares ao plano da parede e podem ser fissuras verticais, horizontais ou oblíquas. [20][23]

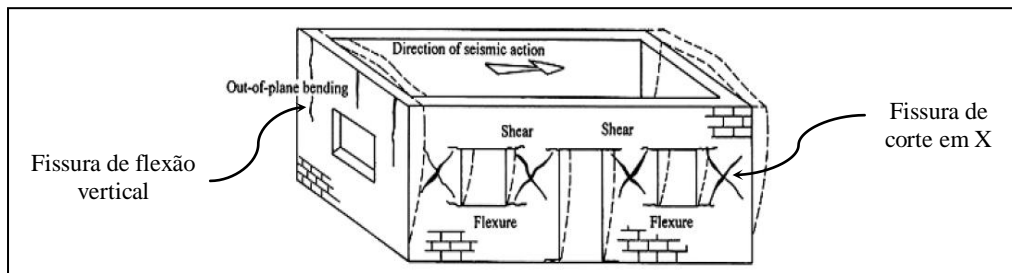


Figura 17. Influência da direcção da acção sísmica na deformação e fissuras características. [24]

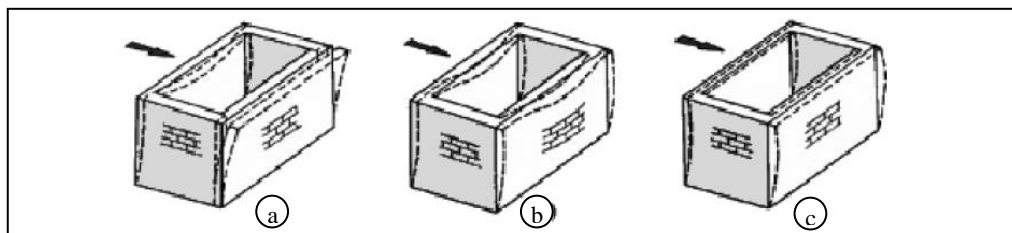


Figura 18. Influência da eficiência das ligações dos panos na deformação. [24]:

- a) Ligação dos panos deficiente,
- b) Piso deformável com ligação dos panos eficiente,
- c) Piso rígido com ligação dos panos eficiente

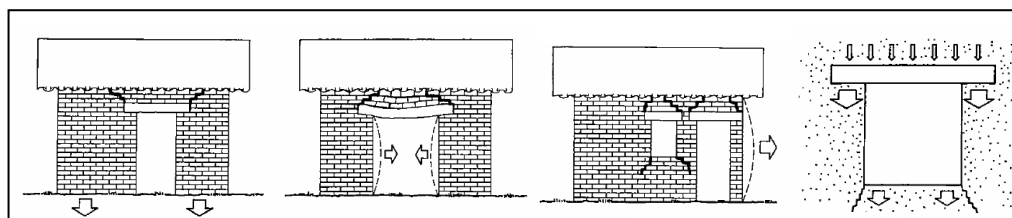


Figura 19. Influência dos lintéis na fissuração em casas de BTC. [11]

As principais causas de colapso ou dano estrutural estão associadas à:

- a) Propriedades dos materiais constituintes de alvenaria;
- b) Coesão deficiente entre blocos;
- c) Ligação deficiente entre paredes, paredes/pavimentos e paredes/coberturas;
- d) Ligação deficiente de elementos secundários à estrutura principal (p.e: parapeitos);
- e) Elementos impulsivos (p.e: coberturas);
- f) Fundações deficientes;
- g) Assimetrias e irregularidades das paredes (em planta e altura);
- h) Morfologia com distribuição das paredes não uniforme;
- i) Substituição de pavimentos e cobertura originais por elementos mais pesados;
- j) Criação de grandes aberturas.

Assim, quanto maior for a altura e o peso da construção, menor é a sua capacidade para resistir às forças sísmicas de moderada e elevada intensidade, ficando mais exposta a danos estruturais severos que possam provocar o seu colapso, causando perdas significativas, quer humanas quer materiais. [20]

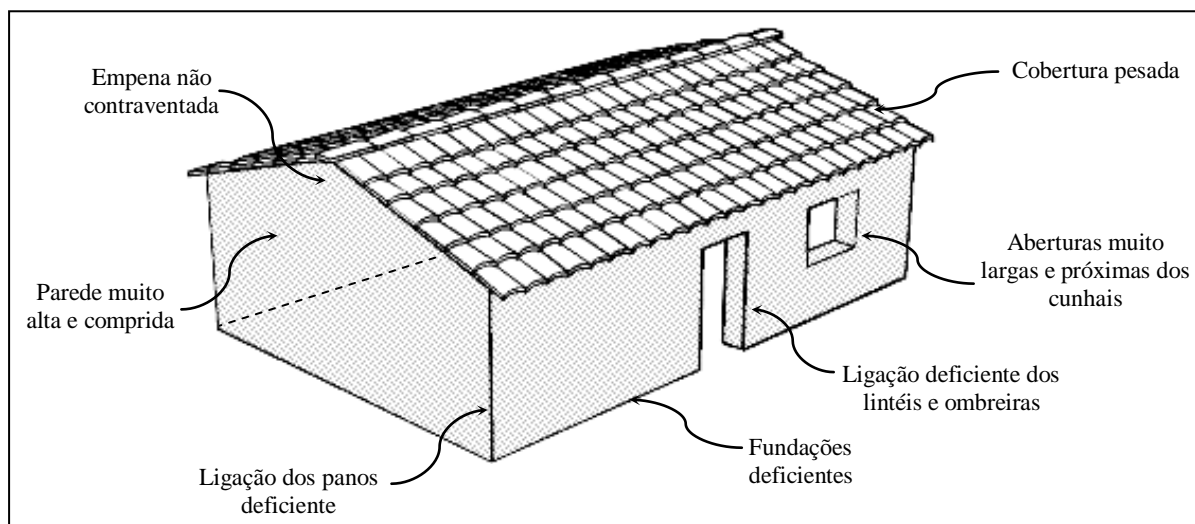


Figura 20. Causas típicas de rotura em casas de terra. [25]

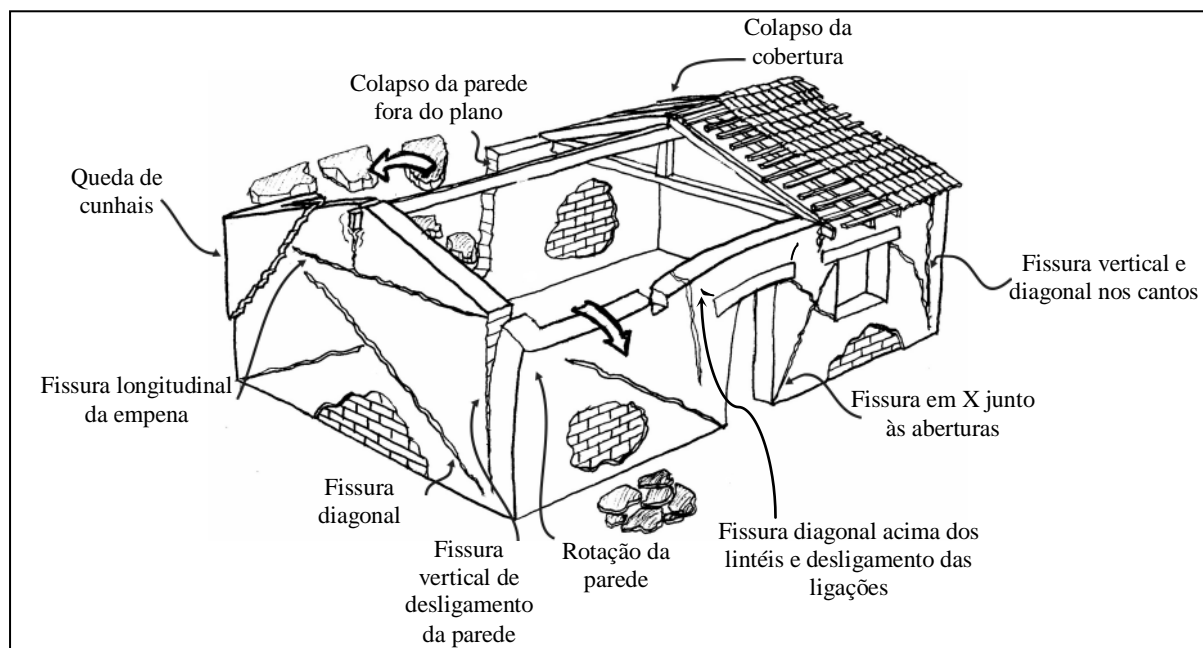


Figura 21. Roturas típicas em casas de terra. [25]

2.9 Recomendações para construção em terra face aos sismos

Após uma avaliação dos danos comuns em construções de adobe, suas causas, e modos de rotura, é possível apontar algumas sugestões de pormenorização e execução das construções de adobe, de forma a garantir menores níveis de vulnerabilidade sísmica.

- Sugere-se que as casas sejam de altura reduzida, com apenas um piso, eventualmente com sótão;
- Cobertura seja o mais leve possível e convenientemente ligada às paredes;
- Fundação firme em alvenaria de tijolo ou pedra, utilizando argamassa com ligante hidráulico. Realizar um plinto na mesma alvenaria com uma altura mínima de 0.30m acima do nível do terreno, sobre o qual se coloca uma membrana hidrófuga e, em seguida, a construção em terra;
- Forma do edifício deve ser regular e simétrica, idealmente de planta rectangular;
- Paredes devem desenvolver-se de forma contínua em ambas as direcções.

Os critérios de dimensionamento aplicáveis têm sido os de natureza empírica – intuitiva com base na experiência adquirida ao longo do tempo. Os critérios geométricos estão apresentados no subcapítulo 3.8 [20]

3 O BLOCO DE TERRA COMPRIMIDO (BTC)

A técnica construtiva do BTC é muito recente, comparativamente com as técnicas de taipa e do adobe. Foi desenvolvida nos anos 50 do séc. XX num programa de pesquisa de habitação rural na Colômbia pelo Eng.º R. Ramires que criou e patenteou uma prensa manual, com o intuito de melhorar o adobe. Ficou mundialmente conhecida como prensa CINVA-RAM¹⁴ [1] (Figura 22). No entanto, crê-se que o princípio foi inventado pelo francês François Cointeraux, no sec XVIII, através de uma prensa de vinho, a “Crécise”. [11]

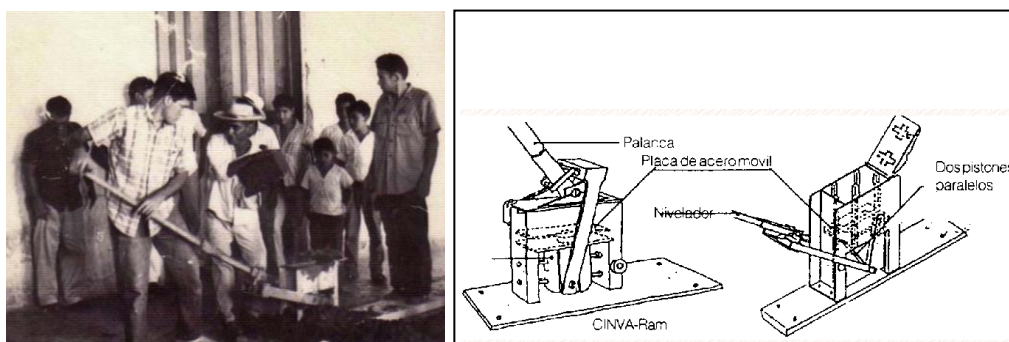


Figura 22. Primeira prensa manual CINVA-RAM. [43]

O BTC surge então de uma evolução do adobe, por estabilização do solo por meios mecânicos e químicos, no seu estado húmido, permitindo obter pequenos blocos de terra mais densos, mais resistente e duráveis em relação ao adobe. É correntemente chamado de tijolo ecológico.

Várias experiências têm sido preconizadas por diversos países, demonstrando a sua viabilidade. Estudos aprofundados sobre o tema começaram em França, no início dos anos 80 do século XX, onde o ENTP¹⁵ lançou várias publicações acerca do tema [1][3]

¹⁴ CINVA era o nome do organismo de habitação popular do Chile onde trabalha Raul Ramirez que era ainda estudante em engenharia mecânica quando patenteou a prensa em 1952 [7].

¹⁵ Ecole National de Travaux Public de l'Etat

Essencialmente, as pesquisas e avanços tecnológicos que se tem efectuado, exploram caminhos diversos como:

- a) A adição de elementos naturais e/ou sintéticos à terra, para melhorar as suas características e adaptabilidade para a construção
- b) O estudo de formas arquitectónicas e dimensões dos elementos mais adequados à construção.
- c) Introdução de elementos adicionais de reforço estrutural, para melhorar comportamentos aos sismos.

De uma forma resumida, a qualidade do BTC depende essencialmente dos seguintes factores [1]:

- a) Composição do solo
- b) Teor em água
- c) Prensagem
- d) Tipo e teor de estabilizante
- e) Cura

3.1 Composição do solo

A terra geralmente usada no BTC deve ser tendencialmente arenosa, uma vez que o fabrico dos blocos consiste na densificação (por compressão) das partículas constituintes da terra. Se a terra tiver muita argila (partículas não compressíveis devida à presença de água), a sua compressibilidade e densidade será reduzida. [13]

A composição granulométrica ideal é difusa e varia de autores para autores:

	CRAtorre (1996) [9]	DELGADO (2006)	BARBOSA (2002)	TORGAL (2009)	NORTON (1997)
Argila	8-30%	10-40%	10-20%	-	10-25%
Silte	10-25%	10-40%	10-20%	-	15-30%
Areia/cascalho	25-80%	Até 70%	50-70%	50-70%	45-75%

[3]

De uma forma geral, a literatura indica a seguinte composição desejável para o processo construtivo com BTC:

- 50 à 70% de areia
- 10 à 20% de silte
- 5 à 20% de argila [3]

Recomenda-se ainda:

- Um limite de liquidez de preferência inferior à 45%[1]
- A fracção do solo com granulometria superior à 20mm deve ser removida[9] de maneira a facilitar a mistura para a produção.
- Evitar a utilização de terra orgânica ou terra argilosa com montmorilonite¹⁶ por requerer altas percentagens de ligante [1].

Se um solo não tiver a composição desejada, esta pode ser corrigida:

- Em solos argilosos pode ser corrigida adicionando areia. É designado como estabilização física.
- Em solos arenosos, para compensar a deficiência em argila (estabilizante natural) pode-se adicionar o limite superior recomendado para o ligante escolhido.

É fundamental efectuar a caracterização do solo à usar, para definir as suas propriedades, granulometria e comportamento mecânico em função do teor em água. Esta caracterização é feita através de um conjunto de ensaios apresentados no capítulo 6 em termos práticos deste trabalho.

3.2 Teor em água

A quantidade e proporção de combinação de água na mistura para se obter BTC têm influência directa na trabalhabilidade, homogeneidade, coesão, absorção, porosidade, durabilidade e desempenho físico-químico dos blocos [3]. Desta forma é fundamental determinar o teor em água óptimo, que varia de solo para solo.

¹⁶ Argila altamente expansiva em contacto com água, inconveniente para qualquer construção.

Normalmente o teor óptimo em água dado pelo ensaio idealizado por PROCTOR (compactação dinâmica) não corresponde exactamente ao teor óptimo de compactação na prensa (compactação estática). A CRAterre recomenda que o ensaio de compactação para determinar o teor em água seja através da própria prensa. Procede-se fazendo variar a quantidade de água para cada amostra, pesando-se e medindo-se as dimensões do bloco prensado para se obter a maior densidade que implicara maior resistência [1][10]. (ver caso pratico em 6.3.3)

Calcula-se a máxima densidade seca pela seguinte equação:

$$\gamma d = \gamma h / (1 + w)$$

Em que: γd = densidade seca

γh = densidade húmida

w = teor em água

Alguns autores apontam a seguinte proporção:

	CRAterre [26]	BAHAR (2004)	TORGAL (2009) PERREIRA (1970)
Teor em água óptimo (w_{opt})	9- 17%	> 9,5-11%	Teor em água para a mistura = 0,95 à 1,10 de w_{opt}

[3]

3.3 Tipo e teor do estabilizante

A introdução do estabilizante pretende melhorar as características do solo ou corrigir a sua composição caso esta não seja ideal[3]

Caso a composição seja ideal para BTC, pode-se adoptar a limite mínimo do teor em ligante recomendado ou eventualmente sem necessitar adicionar o ligante, estabilizando naturalmente, e obtendo BTC totalmente ecológico. [9]

Os tipos de estabilizantes podem ser a cal, o cimento, as fibras ou betumes, e o seu teor varia em função do solo, e de autores para autores.

- a) Cimento: considerado o melhor estabilizante e o mais difundido, mas também o mais caro. O cimento actua principalmente ao nível da areia sendo assim mais aconselhado para solos arenoso [9].

Os teores recomendados pela literatura são:

	BARBOSA (2002)[1]	CRATERRE (1998)[12]	BUSON ¹⁷ (2009)
Teor de cimento	4-6%	4-12%	0-12%

[3]

Caso o solo não tiver a composição desejada, esta pode ser corrigida pelo seguinte[1]:

- Se o solo for muito argiloso, recomenda-se 6% de cimento
- Se o solo for arenoso, recomenda-se teores superiores a 6%.
- Para um solo bem graduado, teores de 4% e até mesmo 2% são aceitáveis.

- b) Cal: É considerada mais económica e mais sustentável. Reage essencialmente com as argilas, sendo recomendado para solos argilosos[9]. Tem boas características impermeabilizantes e de acabamento. Ela endurece ao longo dos anos por reacção química (carbonatação, troca iónica, floculação e pozolánicas).

Os teores recomendados pela literatura são:

	CRATERRE (1996)[9]	TORGAL (2009)	HOLMES (2000)	NORTON (1997)
Teor em cal aérea	6-12%	3-10%	3-10%	3-10%

[3]

JALALI E EIRES (2007)			
Teor de estabilizante	5%	Teor em cal hidratada	25%
		Teor em metacaulino	75%

[6]

- c) Fibras: a sua incorporação visa reduzir o fenómeno de retracção, melhorar o processo de cura e conseguir por vezes redução de peso[3]. Podem ser de naturezas orgánicas ou inorgánicas. As fibras incorporadas por vários autores são:

¹⁷ Para solo com percentagem de argila e silte na ordem de 45%

ROLIM (1998)	PIATTONI (2011)	MATTONE (2005)	NEWMAN N (1984)	BUSON (2009)	LOPES (2012)
Vinhaça	Palha	Sisal e celulose de cacto	Palha	Polpa de celulose de sacos de cimento	Sisal

[3]

3.4 Preparação

A preparação consiste na crivagem, desagregação da terra e mistura.

Recomenda-se que para fins de preparação esta se deve encontrar no seu estado seco ou quase seco (< 5% em teor em humidade).

A crivagem e desagregação têm como objectivo remover do solo partículas ou agregados de grandes dimensões prejudicial ao processo de produção. As pedras funcionam, no bloco acabado, como transmissores de vibração e criadores de linhas de fractura, fragilizando o bloco. A crivagem e desagregação consiste no seguinte:

	BTC	Argamassas
Crivagem	Partículas inferiores à 20mm ¹⁸ , (sendo o ideal ter na ordem de 5mm)	Partículas inferiores à 4mm, (sendo o ideal ter na ordem de 2mm)
Desagregação	Agregados inferiores à 10mm.	Agregados inferiores à 4mm.

[12]

A mistura tem como objectivo a obtenção de uma massa homogénea. Esta deve ser feita primeiro por via seca e depois por via húmida com a adição do teor em água óptimo [12] visto em 3.2

¹⁸ Para prensas mais sensíveis, a crivagem deve ser feita com malha de 10mm

3.5 Prensagem

Considera-se a prensagem como uma estabilização mecânica. Consiste na densificação (por compressão) de um solo confinado num molde. É realizada através de uma prensa que permite realizar vários formatos de blocos, como maciços, perfurados, encaixáveis do tipo “Mattone” ou placas de revestimento. Actualmente existem vários tipos de prensas:

- a) Manuais: A pressão de compactação aplicada à terra pode chegar até 2.0 MPa[9]. A produção é mais demorada e requer mão-de-obra com recurso a força manual, mas é mais vantajosa economicamente, ecologicamente e são móveis.
- b) Automatizadas: subdivide-se em hidráulicas e mecânicas [8]. Imprime pressões bem superiores às manuais, não necessitam de força humana e são mais produtivas. Os blocos obtidos são consequentemente mais resistentes mecanicamente e mais resistentes à água. Podem ser fixas ou móveis.

Assim quanto maior for a compactação imposta ao solo pela prensa, maior será a sua densidade e por conseguinte maior a resistência do bloco.

A taxa de compressão é medida através da razão entre a altura do bloco antes e depois da sua compressão. A taxa óptima é 2.0. [2] [5]

Esta técnica é de rápida execução, fácil na montagem e de grande sustentabilidade uma vez que reduz os resíduos de construção e pode utilizar recursos naturais locais.

3.6 Cura

Os blocos, ao saírem da prensa, podem ser logo aplicados. No entanto, a sua máxima resistência mecânica só é atingida após o período de cura, que deve ser de forma lenta num ambiente quente e húmido. Os blocos devem estar ao abrigo do sol e do vento. Se o clima for muito seco, os blocos devem ser regados e/ou cobertos com uma manta. [10]

A cura, quando estabilizado com cimento, é de aproximadamente 4 semanas por via húmida, e deve ser feita num ambiente húmido ao abrigo do vento e sol. A cura seca, para evaporação da água é de aproximadamente 2 semanas, totalizando assim para uma cura ideal de 6 semanas. (O mínimo exigido é 2 semanas)

Quando estabilizado com cal, o tempo de uma cura ideal passa para o dobro, ou seja 12 semanas com condições iguais às da cura com cimento. (o mínimo exigido é de 4 semanas) [10][12]

3.7 Aplicação em obra

O BTC, é aplicado de maneira semelhante à dos tijolos ou blocos convencionais. Como no adobe, a composição ideal da argamassa de assentamento deve aproximar-se o mais possível da composição do suporte para que toda a alvenaria tenha um comportamento físico-químico-mecânico homogêneo. A sua espessura deve ser compreendida entre 8 à 15mm. Na execução da alvenaria, os blocos devem ser totalmente imersos em água para haver uma boa presa com a argamassa [12]

Em termos de formatos de BTC, foi concebido pelo Prof. R.Mattone (Politécnico di Torino, Italia), um tipo de bloco com sistema macho-fêmea. Os blocos encaixam-se assim uns nos outros, tipo “Lego”, e permitem a construção até 3 pisos considerando as paredes autoportantes[8]. As saliências permitem pequenos movimentos para as correcções de nível, linearidade e verticalidade. (Figura 23)

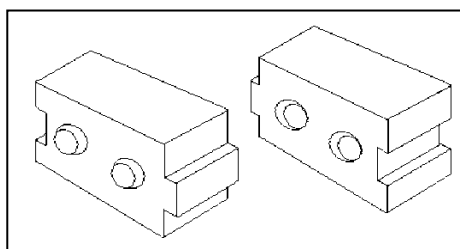


Figura 23. BTC idealizado por Mattone [1]

Actualmente existe uma ampla gama de formatos e dimensões no mercado (Figura 24). Podem ser maciços, perfurados e/ou encaixáveis tipo “Mattone”. Os blocos com furos permitem a passagem da rede eléctrica, hidráulica, cabos, etc, evitando abrir roços na parede e por conseguinte, reduzir desperdício de material e agilizando mais a construção (Figura 26). Os furos podem ser preenchidos com argamassa e/ou varões em aço para consolidação da parede.



Figura 24. Formatos comuns de BTC [41]

Para o processo construtivo, é usual adoptar uma fundação de pedras para paredes exteriores e interiores ou um lintel da mesma mistura do fabrico dos blocos para as paredes interiores. Uma camada de argamassa armada com ferro pode ser colocada sobre as pedras para amarração. No topo da parede, pode se colocar um lintel em toda a periferia, amarrando assim as paredes e funcionando como base de apoio à cobertura (Figura 25). A organização CRATERRE indica ainda várias disposições construtivas para fundação em função do tipo do solo de fundação [11].

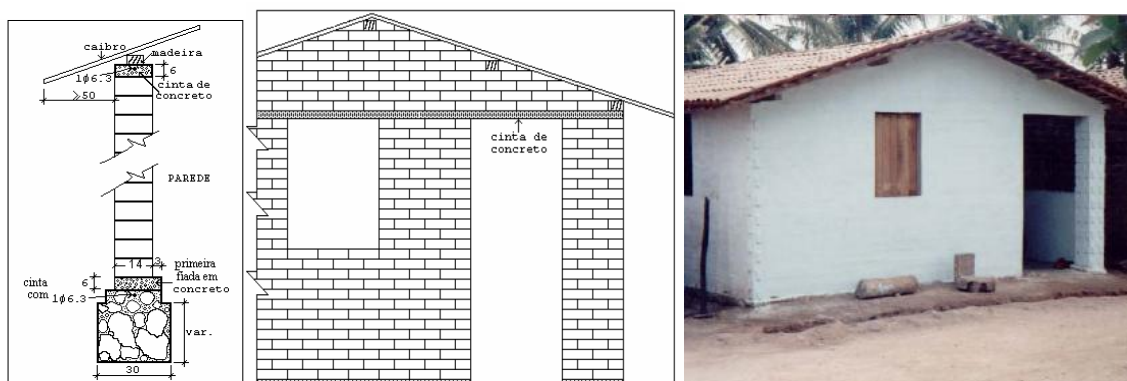


Figura 25. Técnica construtiva para pequenas habitações em BTC na favela do Paraíba, Brasil [1]

Em termos de acabamento, as casas em BTC podem dispensar o reboco e/ou pintura, ficando a alvenaria à vista (Figura 26) permitindo uma redução de custo na ordem de 25% do custo total. A alvenaria de BTC é ainda considerada não permeável consoante a qualidade da execução.



Figura 26. Construção de vivenda de luxo em BTC, Brasil. [42]

No caso da aplicação do reboco, à base de cal ou cimento¹⁹, o suporte deve ser humidificado e a aplicação deve ser efectuada em 2 à 3 camadas (*salpisco*, *enchimento* e *acabamento*), com intervalo de 2 dias e as espessuras das camadas são respectivamente 3-5mm e 8-20mm [11]. Os rebocos de cal exigem um cuidado especial na sua aplicação, já que a cal não endurece por secagem, mas por carbonatação, em contacto com o dióxido de carbono do ar.

As pinturas devem ser acrílicas, de látex, ou em caia para deixar respirar as paredes. A caia é um processo rústico de pintura a base de cal, geralmente utilizado para o acabamento de paredes de adobe em vez da tinta. É obtida através da mistura de 1 volume de cal aérea com 3 volumes de água e aplicada em 2 à 3 camadas. Considera-se uma opção eficaz, estética e económica [11].

¹⁹ Reboco só à base de cimento ou cal hidráulica no exterior deve ser evitada, devido à alta rigidez e pouca aderência sobre a terra[11]

A solidificação ocorre na sequência da cristalização dos constituintes, originando uma camada que actua como consolidante do próprio reboco. Para além das funções estéticas desempenhadas, a caiação actua como camada protectora que passa a fazer parte integrante do revestimento da parede.

Cada demão deve ser aplicada em intervalos de 24 hora para que a carbonatação da cal faça efeito. A 1º demão deve ser feita predominantemente na vertical e a 2º na horizontal.

Antes de qualquer demão, a base deve ser preparada por aspersão com água corrente.

Após umas adicionais 24 horas, a caiação deve fixar-se com aspersão com uma mistura leve de água e cal.[14]

3.8 Critérios de dimensionamento para a construção em BTC

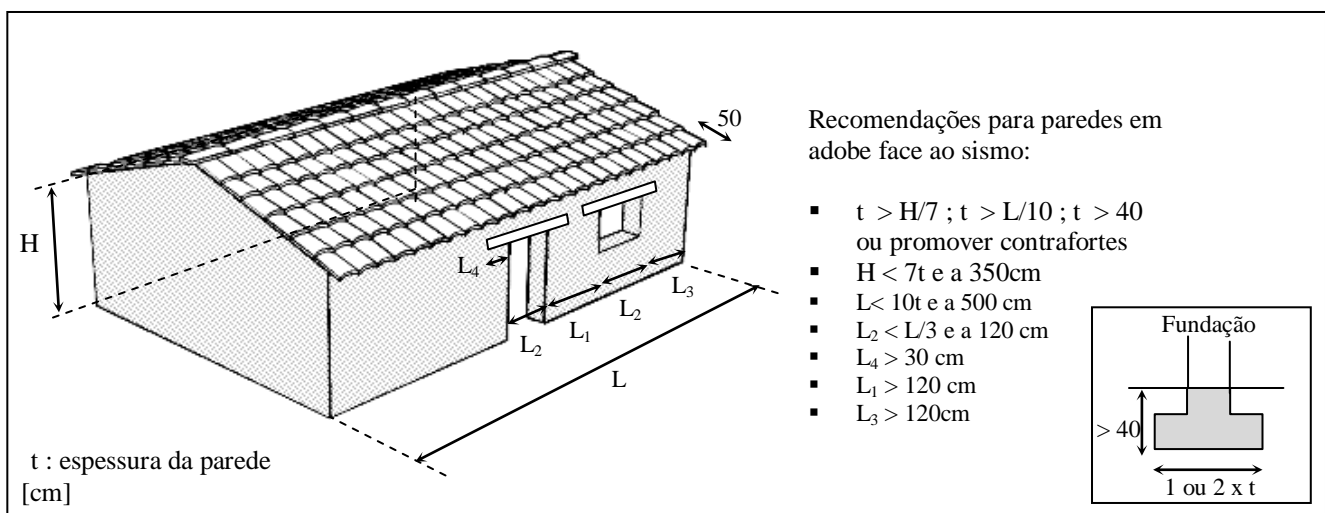


Figura 27. Principais recomendações geométricas para paredes em adobe.

Para o dimensionamento das paredes em BTC, as recomendações prescritas pela CRAterre, são as seguintes [11]:

- $L_1 > 60$ cm ou superior à espessura da parede, t
 $L_1 > 100$ cm para que a parede se considere autoportante.
- $L_2 < L/3$ e a 120cm
 $\Sigma L_2 < 35\%.L$

- $L_3 > 100 \text{ cm}$
- $L_4 > 20 \text{ cm}$
- $t > 14 \text{ cm}$ para muros autoportantes
 $t > 9 \text{ cm}$ para muros não autoportante[12]

Salienta-se que os critérios para o adobe são mais conservadores que os do BTC, como eram de esperar.

Em termos de espessura e altura, o seu dimensionamento é feita tendo em conta as condições de apoio e esbelteza da parede [11]:

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} < 20 ; \text{ em que } h_{ef} > 0,75 \text{ (Figura 28)}$$

Caso a esbelteza seja superior a 20, podem ser adoptados contrafortes.

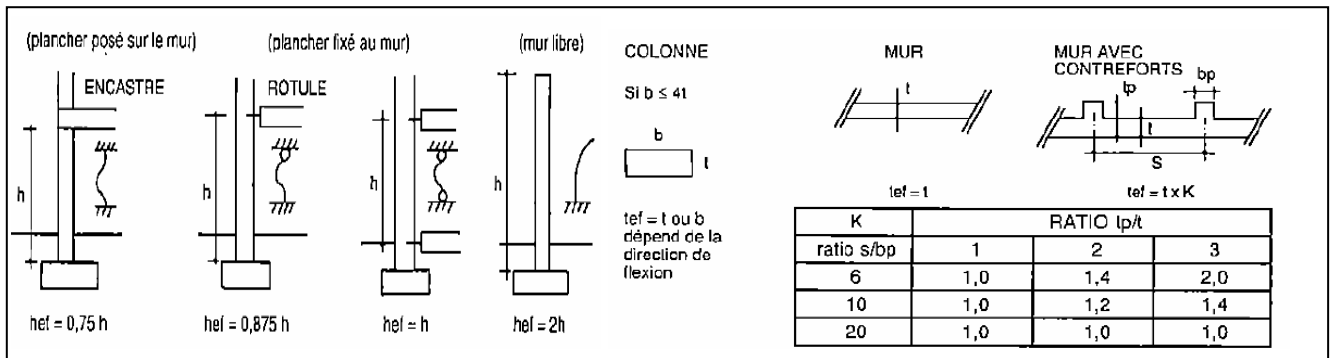


Figura 28. Critérios de dimensionamento segundo CRATERRE[11]

O coeficiente de segurança a adoptar para casas em BTC, deve ser aplicado à resistência característica à compressão, f_k , e varia entre 10 à 15.[11]

3.9 Regulamentos e normas em vigor

Actualmente e à nível europeu, esta em vigor o Eurocódigo 6 (EC6 - Projecto de estruturas de alvenaria), que regula as características tecnológicas e físico - mecânicas da alvenaria e dos seus constituintes, e o Eurocódigo 8 (EC8 - Projecto de estruturas resistentes à acção sísmica), que detalha a acção sísmica e os requisitos dos edifícios em zonas sísmicas. Estas não referem explicitamente as construções em terra crua e só se encontram em vigor em Portugal há relativamente pouco tempo. Existe também o Regulamento de Segurança e Acções (RSA), ainda em vigor em Portugal.

Quanto ao BTC, a organização francesa, CRAterre, editou Normas, e Manuais relacionados que descreve todo o processo desde a selecção do solo até à construção, abrangendo toda a informação relacionada com o tema, tal como controle de qualidade, construção e gestão de uma unidade fabril, linhas de produção, etc.

Considera-se o BTC, um produto normalizado desde 1996 [12]. Tanto o bloco, como as argamassas e alvenaria, são classificadas pela CRAterre, segundo:

- Formato e geometria
- Utilização
- Solicitações mecânicas
- Solicitações do meio ambiente

À classificação obtida, corresponde um nível de exigibilidade de resistência à compressão, absorção à água, abrasão e aspecto. [12]

4 MODELO FÍSICO: CASA TÍPICA DA RIA DE AVEIRO

O modelo experimental baseia-se num edifício de habitação unifamiliar de 1 piso, típico do bairro da Beira-Mar da cidade de Aveiro (Figura 29). Encontra-se situado no 38 da Rua Dom Jorge Lençastre e está inserido numa zona urbana, com uma elevada densidade de construções de pequena altura.



Figura 29. Frente e parede lateral esquerda da construção original.

A estrutura está implantada em banda extrema com “parede meia”, numa área de construção aproximadamente rectangular em planta constituído pelo corpo e anexo, com cerca de 117 m². Existem dois acessos principais e um vão de escadas que liga o piso 0 e 1. (Figura 31)

O corpo principal do edifício é constituído pelo rés-do-chão e sótão com águas furtadas, possuindo um anexo de piso térreo nas traseiras. Possui uma frente com 6.5m de largura e desenvolve-se com um comprimento de 18.0m e com uma altura de 8.5m com o vão do telhado. As paredes são em adobe e desenvolvem-se de forma regular e simétrica em planta e em altura.

O edifício possui um frontão e mansarda na fachada principal e um beiral em todo o perímetro do piso 1 (Figura 30).

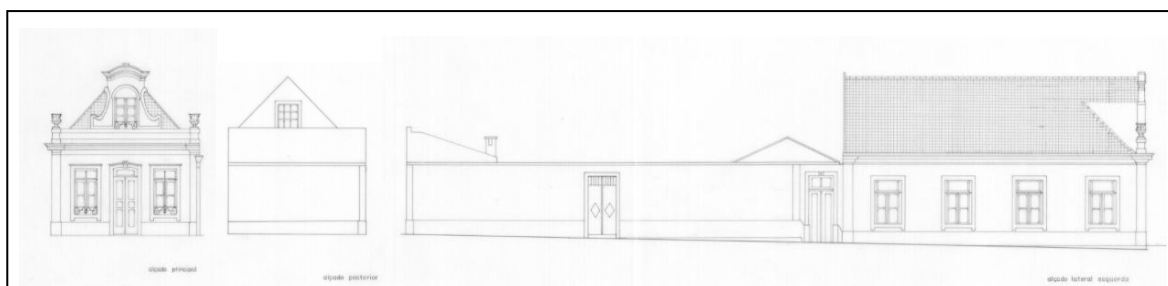


Figura 30. Respectivamente: Alçado principal, posterior e lateral esquerdo da construção original²⁰

A cobertura é constituída por uma estrutura triangular em madeira onde apoia as telhas cerâmicas. Identifica-se o pavimento em madeira do sótão como piso 1 e faz parte integrante da estrutura de madeira da cobertura (Figura 31). Esta apoia-se directamente no topo das paredes exteriores em alvenaria, contribuindo assim para o seu contraventamento.

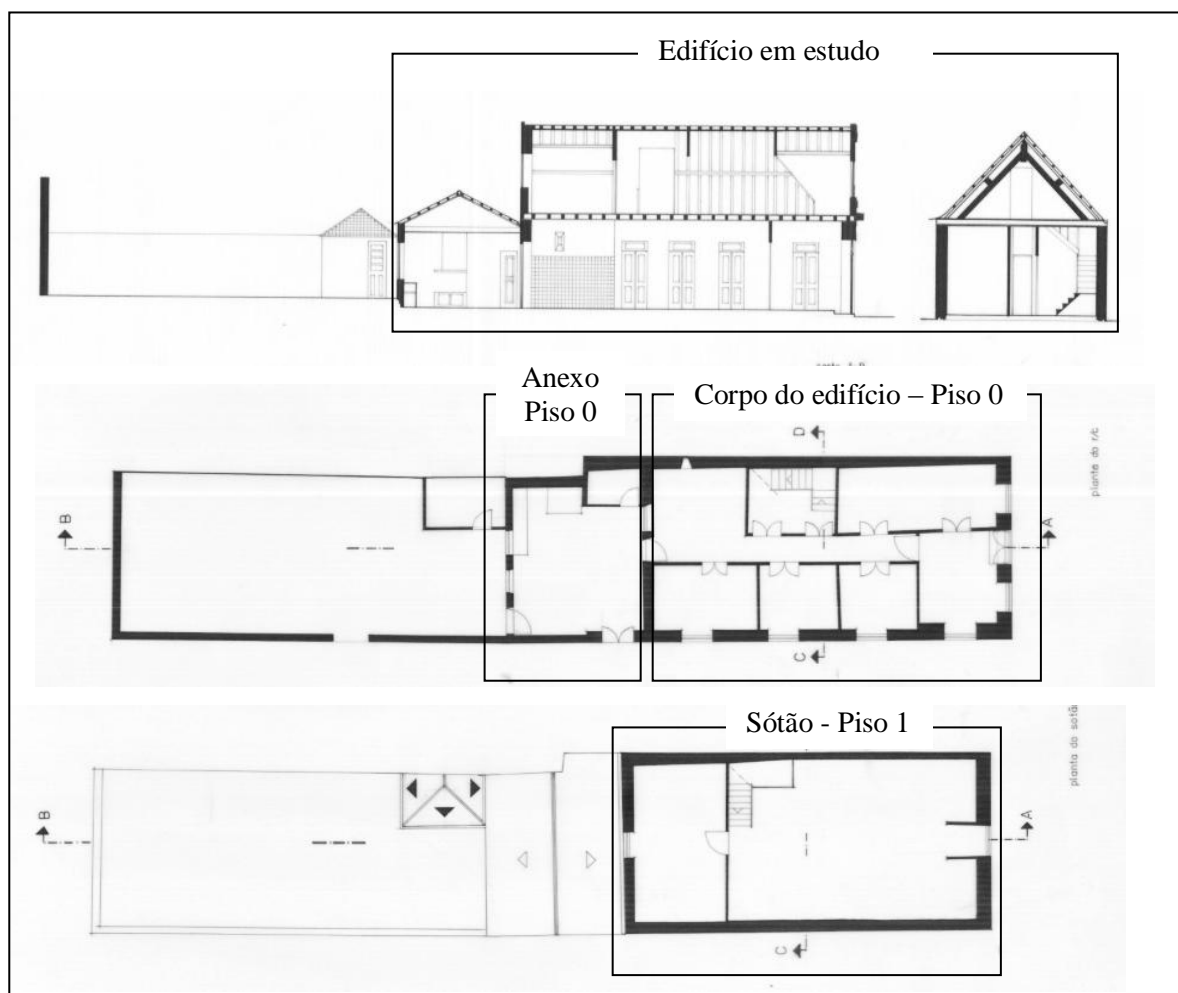
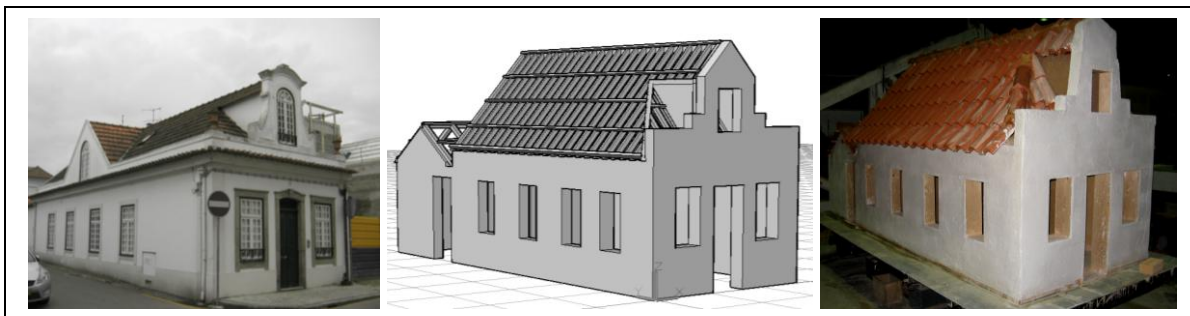


Figura 31. Plantas e cortes da construção original²⁰

²⁰ Alçados e plantas fornecidos pela Arq. Maria Emília Lima da CM de Aveiro.

5 MODELO EXPERIMENTAL: REPRODUÇÃO DA CASA



O modelo experimental consiste na reprodução à escala reduzida de uma casa típica da Ria de Aveiro (Capítulo anterior), no laboratório de engenharia civil da Universidade de Aveiro. Para que o modelo se enquadre na base de assentamento (3.90x1.90m) previsto para o efeito, a escala real do modelo físico foi reduzida 4 vezes.

Pretende-se assim simular o comportamento estrutural de uma casa com tipologia típica da Ria de Aveiro, em adobe, usando o elemento tema deste estudo: o bloco de terra comprimido (BTC)

Em termos de materiais, disposição e função dos elementos construtivos, tentou-se ser o mais fiel possível à construção original.

Os próximos capítulos irão relatar todo o processo de reprodução da casa, ou seja:

- A caracterização do solo e produção do BTC (Capítulo 6 e 7)
- Concepção e construção da casa em BTC (Capítulo 8 e 9)

A caracterização do solo terá como objectivo determinar os dados essenciais para poder compor a mistura dos blocos e daí dar início à sua produção.

Da sua produção iremos caracterizar o próprio BTC segundo as normas da CRAterre.

Na concepção, não iremos dimensionar, mas sim verificar as dimensões reais da casa, dado se tratar uma reprodução de uma casa existente. Daí, iremos também determinar os materiais, as soluções e disposições construtivas necessárias à construção. Todo o processo será baseado essencialmente pelos manuais e normas da organização francesa – CRAterre.

6 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

O comportamento de um determinado solo é função da quantidade de argilas, siltes e areia e também da quantidade de água capilar retida nas vizinhanças dos pontos de contacto das partículas sólidas e da água absorvida, que envolve as partículas com dimensão inferior a 0,002 mm.

A caracterização da fase mineral do solo foi levado a cabo através de uma serie de ensaios que permitem quantificar diversos tipos de propriedades. Assim, foram realizados ensaios expeditos, com um nível de fiabilidade pouco elevado e, ensaios de laboratório, segundo procedimentos normalizados ou específicos. [26]

6.1 Selecção e nomenclatura das amostras

Seleccção A	Solo disponível no laboratório usado para o adobo
Seleccção B	Solo do estaleiro do “Sr Rui” em Vagos. (13.03.2010)
Amostra 1	Seleccção B
Amostra 2	Mistura da selecção A com areia (1:2)
Amostra 3	Mistura da selecção B com areia (2:1)

Salienta-se que, a caracterização do solo incidiu essencialmente na amostra 3 e selecção B dado ser o solo predestinado para a produção do BTC neste trabalho.



Figura 32. Aspecto do solo da selecção B.

6.2 Ensaio expeditos

O procedimento dos ensaios expeditos foram realizados seguindo as directivas do grupo francês CRAterre[10]. Os resultados obtidos foram os seguintes:

Teste	Seleção A	Seleção B
Cor	Cor parda traduz a presença de óxidos de ferro.	A cor pálida traduz a presença de areias quartzosas ou feldspáticas.
Cheiro	Não apresenta cheiro pelo que não é um solo orgânico.	
Tacto	Ao esfregar a amostra entre as mãos, percebe-se a presença de um solo arenoso pelo facto de ser áspero.	
Brilho	Uma bola ligeiramente humedecida e cortada por uma faca apresenta face opaca. Pressupõe um solo siltoso ou arenoso.	
Lavagem	O solo fica ligeiramente colada a mão: Siltosa	As mãos lavam-se facilmente: Arenoso
Rolinho	O rolo parte-se antes de se formar bola: siltoso ou arenoso.	

6.3 Ensaio de laboratório

6.3.1 Peso volúmico solo aparente

Para a determinação da massa volúmica aparente do solo recorreu-se ao procedimento de ensaio da norma NP EN 1097-3:2002. Obteve-se os seguintes resultados:

	γ (g/cm ³)
Amostra 1	1,380
Amostra 2	1,373
Amostra 3	1,395
Areia	1,880

(Ver Quadro A.6 em Anexos)

6.3.2 Teste de sedimentação

Com recurso a um frasco, encheu-se até $\frac{1}{4}$ da sua capacidade com o solo da selecção B e completou-se com água. Agitou-se, deixou-se repousar uma hora, e repetiu-se o procedimento 2 vezes. Posteriormente mediu-se as espessuras das camadas de areia, de silte e argila [26] (salienta-se que a argila é expansiva e aumenta de volume com a água e que a forma do frasco é irregular)

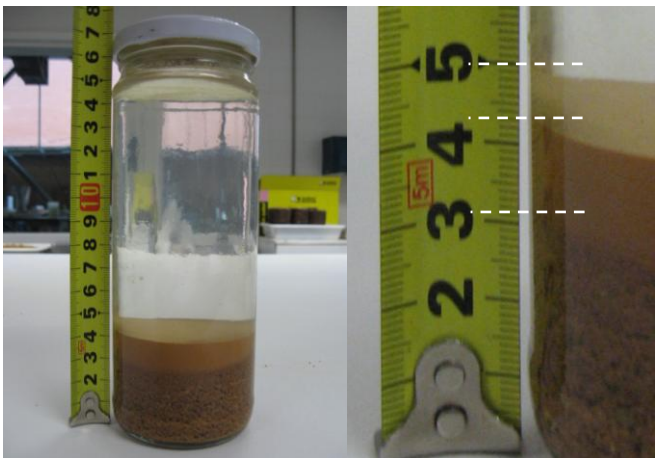
	Argila	6 mm 12%
	Silte	12 mm 24%
	Areia e cascalho	≈31 mm 64%
	Rácio argila/silte	50%

Figura 33. Teste de sedimentação da selecção B.²¹

6.3.3 Teor em água óptimo

Normalmente o teor óptimo em água dado pelo ensaio idealizado por PROCTOR (compactação dinâmica) não corresponde exactamente ao teor óptimo de compactação na prensa (compactação estática). A CRAterre recomenda que o ensaio de compactação para determinar o teor em água seja através da própria prensa que corresponderá ao teor de humidade real da produção[1][10]. Este ensaio será considerado como um ensaio de produção.

A determinação experimental da correlação entre baridade seca do bloco e o teor de humidade foi executado fazendo variar o teor em água, para 5 amostras de BTC (ver composição em 7.1), e procedeu-se a medição do volume e peso para cada um depois de

²¹ Resultados em termos volumétricos

prensado. A compactação estática foi realizada através da mesma prensa usada para a produção.

Os resultados obtidos foram os seguintes:

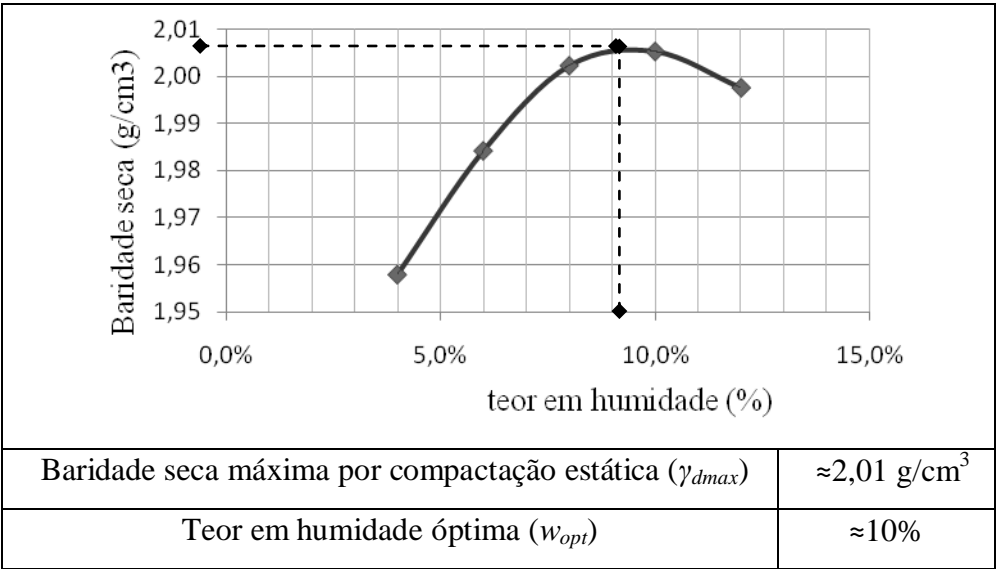


Gráfico 6.1. Curva de teor em água ótimo do BTC da amostra 3

(Ver Quadro A.8 em anexos)

6.3.4 Análise granulométrica

O ensaio consistiu na identificação das percentagens massicas da fracção arenosa do solo acima de 0,063 mm, obtidas por peneiração por via seca através de uma serie de peneiros normalizados ISO 3310-1:2000 (Figura 34). O procedimento foi executado segunda a NP-EN933-1.



Figura 34. Peneiros normalizados ISO 3310-1:2000

Os resultados obtidos da peneiração foram registados nas seguintes curvas granulométricas para as 3 amostras:

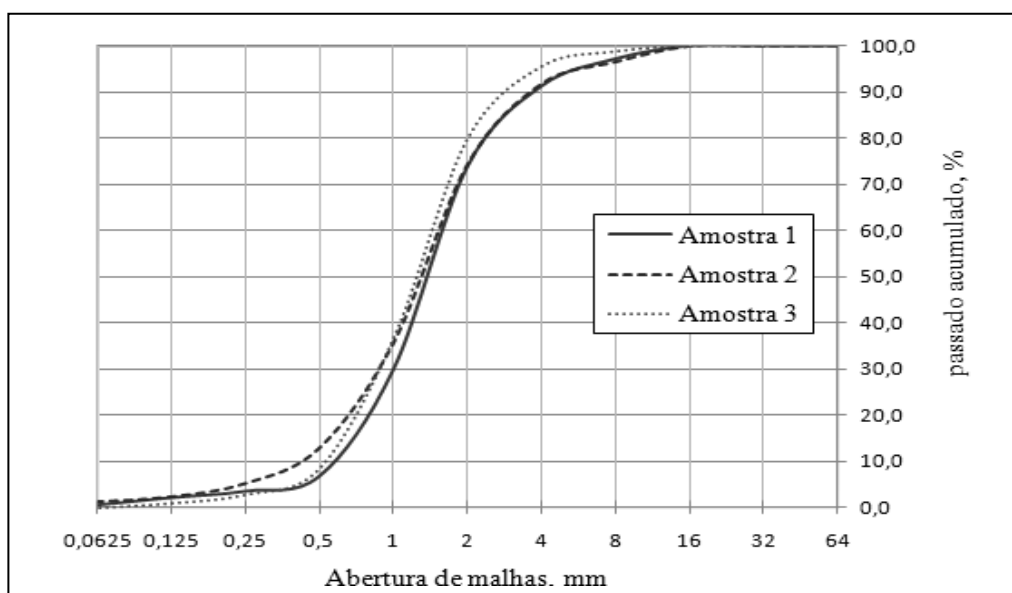


Gráfico 6.2. Curva de distribuição granulométrica
(ver Quadro A.2 à Quadro A.4 em anexo)

A composição granulométrica das 3 amostras pela escala de Wentworth é a seguinte:

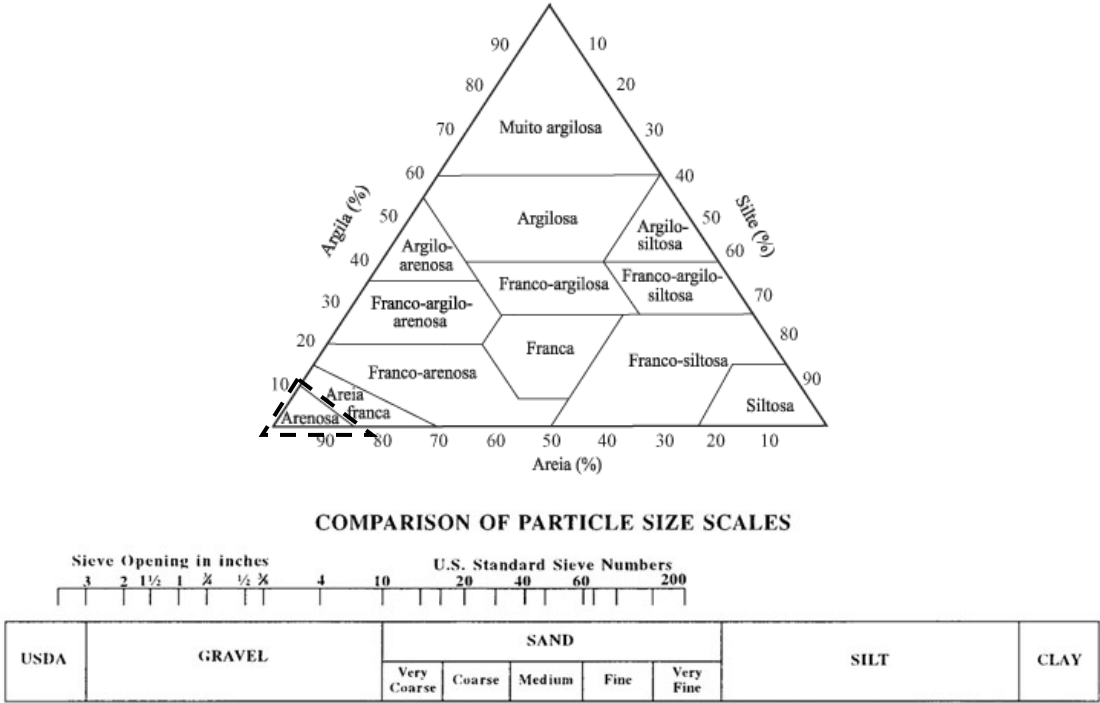
Composição	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
argila+silte	1%	0,3%	1%
areia	73%	74%	79%
cascalho	26%	26%	20%

Quadro 6.1. Composição granulométrica das amostras
(Ver Quadro A.5 em anexos)

6.4 Propriedades e classificação do solo

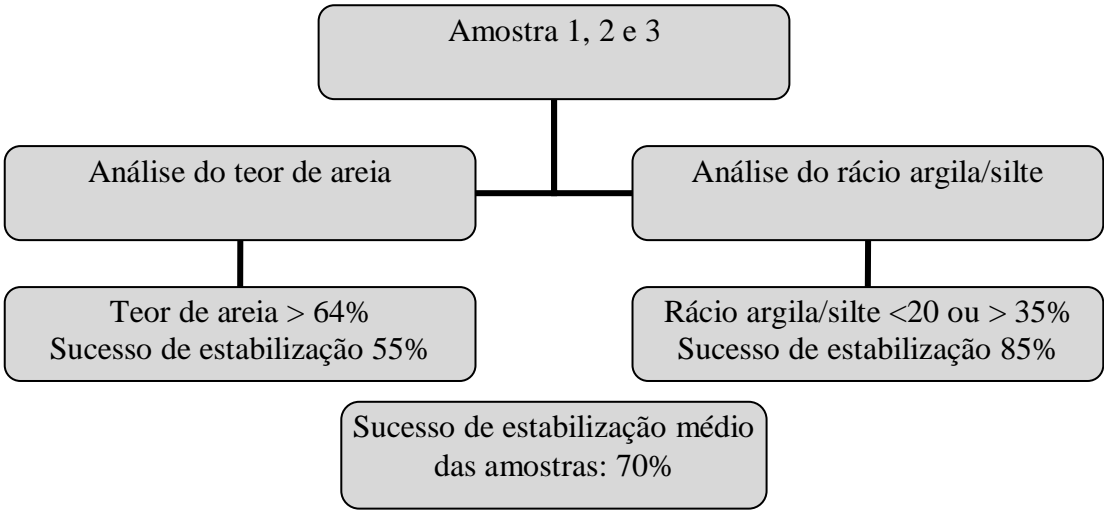
Através da análise da uniformidade e curvatura dos solos (Quadro A.7 em Anexo), constata-se que todas as amostras são mal graduadas (solo uniforme e bem graduado por curvatura). Este critério de classificação das características granulométricas de um solo revela-se importante quando os solos têm uma fracção de finos reduzida, como é o caso. A má graduação do solo definida pela análise granulométrica, traduz um solo que permite uma menor compacidade ou menor resistência do que um solo bem graduado. [27]

Pelo sistema de texturas triangulares USDA (Quadro 6.2), fazendo as conversões necessárias resultantes do Quadro 6.1, obtemos as mesmas conclusões.



Quadro 6.2. Sistema de texturas dos solos.

Segundo a classificação por Burroughs (Quadro 6.3), o autor utilizou como critério de validação de aptidão do solo para ser estabilizado, a obtenção de uma resistência à compressão superior a 2.0 MPa para um sucesso de estabilização de 100%. Tendo em conta um sucesso de estabilização das amostras na ordem de 70% (Quadro 6.3), poderíamos estimar a resistência à compressão do solo em 1.40 MPa aprox.[26]



Quadro 6.3. Metodologia para aferir a aptidão de um solo para ser estabilizado segundo Burroughs.

De uma forma resumida, as características úteis da amostra 3, prevista para a composição e produção dos blocos, são as seguintes:

Amostra 3	
Tipo de solo	Arenoso
Uniformidade e curvatura do solo	Mal graduado
Baridade seca máxima por compactação estática ($\gamma_{d,max}$)	$\approx 2,01 \text{ g/cm}^3$
Baridade húmida máxima por compactação estática ($\gamma_{h,max}$)	$\approx 2,21 \text{ g/cm}^3$
Teor em humidade óptimo (w_{opt})	$\approx 10\%$
Aptidão para estabilização	70%

Quadro 6.4. Classificação e propriedades da amostra 3.

Amostra 3	
argila+silte	1%
areia	79%
Cascalho	20%

Quadro 6.5. Composição granulométrica da amostra 3

7 PRODUÇÃO DO BTC

7.1 Composição da mistura para produção

7.1.1 Terra e areia

Em termos de composição granulométrica do solo, podemos verificar pelo Quadro 6.5 e os requisitos em 3.1 (pag.21), que a fracção arenosa da amostra 3 se encontra acima dos valores recomendados pelos vários autores para produção de blocos. Já, o teor de argila+silte (1%) é deficiente em relação aos valores recomendados.

(Traço adoptado para terra/areia = 2:1)

7.1.2 Água

Para a quantidade de água, adoptou-se o teor em água de 10% obtido em 6.3.3. que se encontra também dentro dos limites indicados em 3.2, de forma a obter a máxima baridade.

7.1.3 Cal

Para a estabilização dos blocos, optou-se pela cal, uma vez que é mais usado nas construções de terra em Aveiro e devido às suas características favoráveis contra a retracção.

Como a granulometria do solo não é muito favorável à confecção do BTC, tentou-se corrigir optando pelo limite superior do teor em cal de 10%, indicado em 3.3b.

O ligante utilizado foi a cal aérea “Lusical QM” que apresenta uma massa volúmica aparente 409,6 kg/m³ (Ficha técnica em anexo)

O traço resultante para a mistura solo, areia e cal, é 2:1:1 (Quadro 7.1)

	Peso	Peso volúmico (gr/cm ³)	Volume	Traço	
Amostra 3 (2:1)	90%	1,395	73%	Solo	2
				Areia	1
Cal	10%	0,409	27%	Cal	1

Quadro 7.1 Definição do traço da mistura para produção de BTC

7.2 Preparação e mistura

Por questões de compressibilidade e pelas razões apontadas em 3.4, a terra foi desagregada e crivada para remoção das partículas ou agregados superior a 20mm, através de uma rede com malha com 15mm. Segundo a CRAterre[8], um peneiro improvisado em obra é suficiente. (Figura 35)



Figura 35. Crivagem e desagregação do solo

A mistura é efectuada até se obter uma massa homogénea sem formação de esferas, durante cerca de 2 à 4min. Foi usado uma betoneira de eixo inclinável com preenchimento do depósito até 50%.

A mistura é feita em primeiro à seco e depois por via húmida de forma a evitar os processos químicos logo ao início da mistura. Por consequente, a sequência de introdução dos vários componentes foi a seguinte, tendo em conta o traço 2:1:1 pré-estabelecido da composição:

1º	Terra	2 volumes	36,3 kg
	Areia	1 volume	18,1 kg
2º	Cal	1 volume	6,3 kg
3º	Água	10% do peso	6,1 Lt.

De forma a agilizar a dosagem em obra, usou-se o balde (16,77 dm³) como unidade de volume de areia e terra, e um marco num recipiente para a quantidade certa de água.

7.3 Prensagem

A prensagem dos blocos foi realizada através da prensa manual TERSTARAM da Appro-Techno (Figura 36).

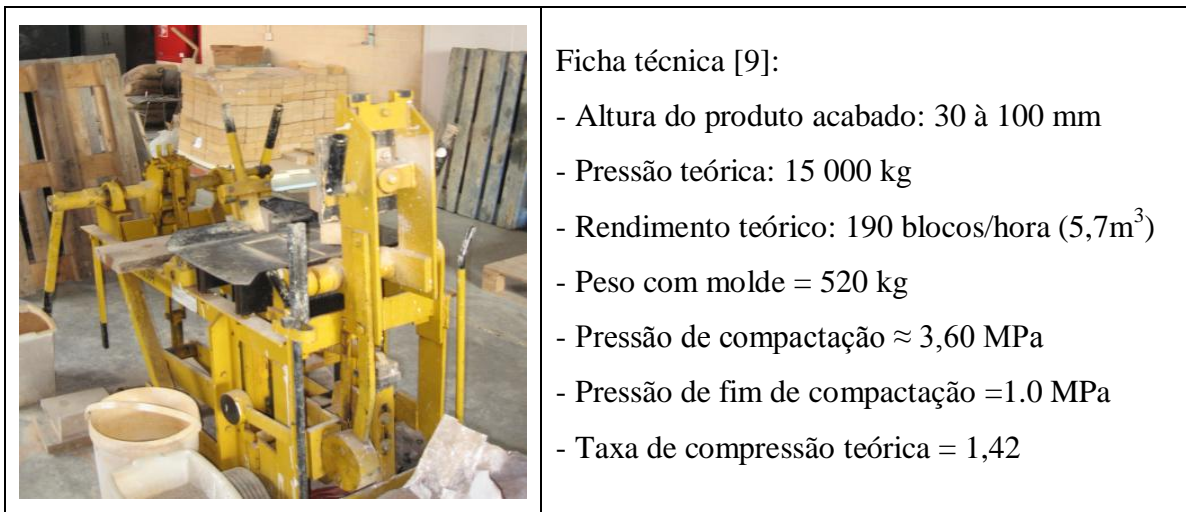


Figura 36. Prensa manual TERSTARAM

A mistura deve ser bem distribuída pelo molde. Tendo em conta que os cantos são os pontos mais frágeis, calcaram-se os cantos com os dedos antes da prensagem. Depois de prensado, o bloco foi retirado com cuidado do molde. Para evitar danos nas arestas e cantos, segurou-se o bloco pelas faces maiores, com as palmas das mãos abertas sem tocar nas arestas. (Figura 37)



Figura 37. Arrase da moldagem, calcagem dos cantos, e manipulação do BTC[10]

São depois colocados numa base de madeira improvisadas para serem transportados. (Figura 38)

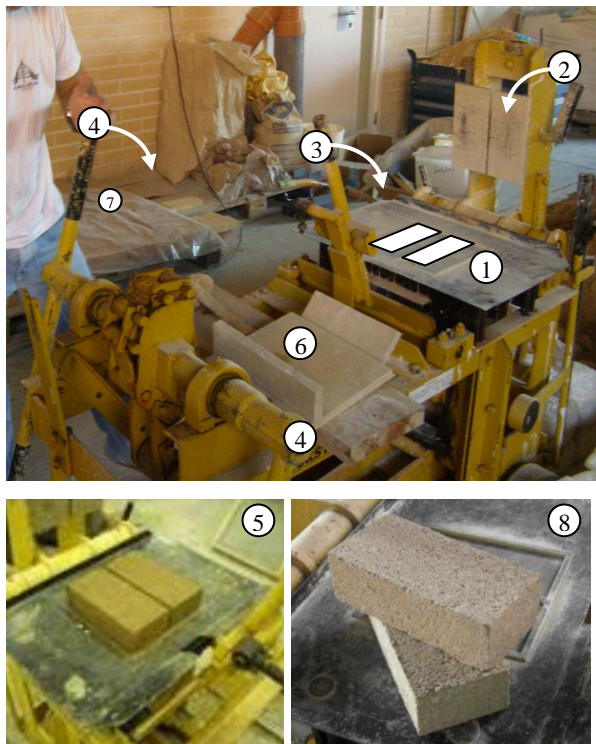
	1	Preenchimento dos moldes
	2	Posicionamento da prensa
	3	Travamento da prensa
	4	Exercer força sobre as alavancas para compressão do bloco
	5	Destravamento da alavanca ③ e saída de blocos.
	6	Colocação na base para transporte
	7	Armazenamento
	8	Aspecto final do BTC. Dimensão: 22 x 7,5 x 10.5 (1732cm ³)

Figura 38. Sequência de produção do BTC.

A taxa de compressão do bloco, medida através da razão entre a altura do bloco antes (10cm) e depois da sua compressão ($\approx 7,5\text{cm}$), foi de 1.33 aprox.

7.4 Cura

Os blocos, quando estabilizados com cal podem ser logo utilizados ao saírem da prensa. No entanto, para atingir a sua máxima resistência mecânica, os blocos estabilizaram num processo de cura com um ciclo superior a 5 semanas, processando-se em duas fases: a cura húmida e cura seca.

A cura húmida teve início imediatamente a seguir a prensagem dos blocos prologando-se durante um período de 2 semanas. Tem por objectivo permitir que a presa da cal contida na terra se faça lentamente, para evitar que ocorra apenas no exterior do bloco, deixando o miolo cru e consequentemente o bloco frágil. Para esse efeito, os blocos foram armazenados sobre uma base em cartão de uma paleta e sob um plástico, colocados

encostados uns aos outros para ajudar a manter a humidade e criar uma espécie de estufa estando ao abrigo do sol. [13] (Figura 39).



Figura 39. Cura por via húmida dos BTC

Finda a semana retirou-se o plástico e mudaram-se os blocos para uma paleta à descoberto, para que se processasse o fim do processo de carbonatação pela cura seca durante mais de 3 semanas, prolongando-se mesmo quando colocados na parede.



Figura 40. Aspecto final do BTC depois da cura

7.5 Caracterização do BTC produzido

Pela norma francesa [12], o BTC produzido neste trabalho, designa-se por:

BTC_O_1 _type 1

Em que: *O*, refere-se a utilização. Considera-se bloco ordinário não aparente.
I, refere-se a categoria de resistência. Considera-se um piso raso com paredes autoportantes.
Type 1, refere-se ao formato, sendo este maciço sem relevo.

Segue-se um resumo das propriedades do BTC produzido:

Geometria	22 x 7,5 x 10.5 (1732cm ³)
Peso volúmico seco	2,01 g/cm ³
Taxa de compressão	1,33
Tensão resistente à compressão Segundo a NBR 8492	1,21 MPa. ²²

Quadro 7.2. Propriedades físicas do BTC

A CRAterre considera ainda a influência do formato/aparelho do bloco na determinação da resistência característica do BTC, designado por f_k , através de um coeficiente de conversão tabelado [11]. (ver Quadro A.10 em Anexos)

	Resistência característica à compressão, f_k
Blocos aparelhados “à 1/2 vez”	0,60 MPa
Blocos aparelhados “ao cutelo”	1,13 MPa

Dos resultados obtidos, constata-se e salienta-se o seguinte:

Pela norma [12], as características mecânicas do BTC produzido não verificam a resistência mínima exigida de 2.0 MPa para o tipo de BTC produzido. No entanto, segundo o manual de produção da mesma organização [10], verifica-se que as baridades húmidas e secas obtidas para 10% de teor de humidade (Quadro 6.4) enquadram-se dentro dos limites favoráveis para confecção de BTC (Quadro 7.3).

Baridade seca	Mínimo: 1700 kg/m ³ Recomendado: 2000 kg/m ³
Baridade húmida	Mínimo: 1870 kg/m ³ Recomendado: 2200 kg/m ³

Quadro 7.3. Baridades para produção de BTC segundo CRAterre[10]

²² Valor calculado na Dissertação “*Técnicas de reforço em edifícios de adobe*”, por Bruno Miguel Lobo[4], com base na construção realizada no presente trabalho.

8 CONCEPÇÃO DO MODELO EXPERIMENTAL

8.1 Orientação e referenciação do modelo

Para melhor entendimento da localização das fachadas, estas foram referenciadas em relação aos 4 pontos cardiais, conforme Figura 41. Foram também referenciados os cunhais e encontros de parede.

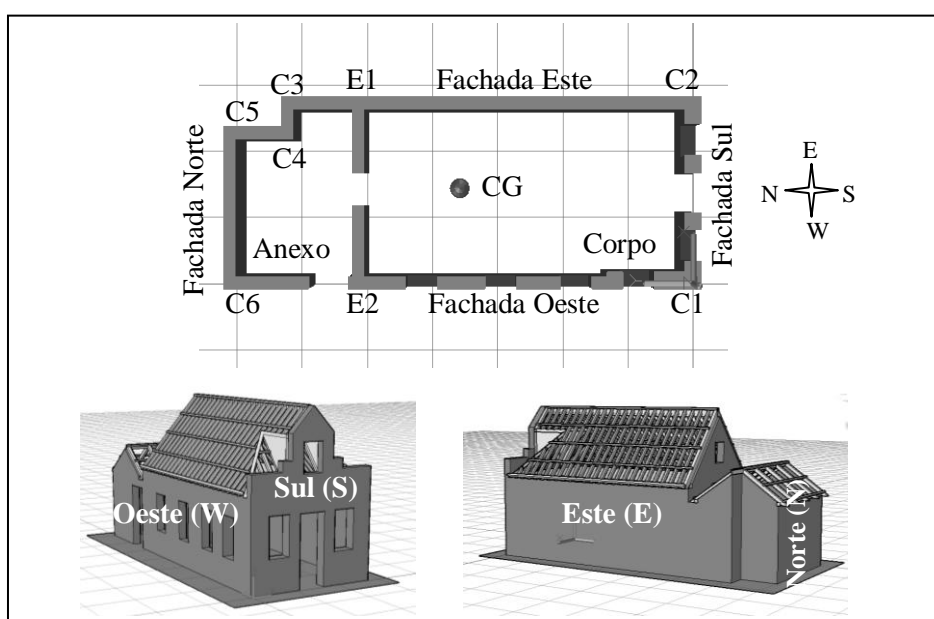


Figura 41. Descrição e orientação do modelo experimental

A reprodução dos vãos consiste numa estrutura em madeira com lintel, ombreira e peitoril. Seguem as referências e disposição dos vários vãos:

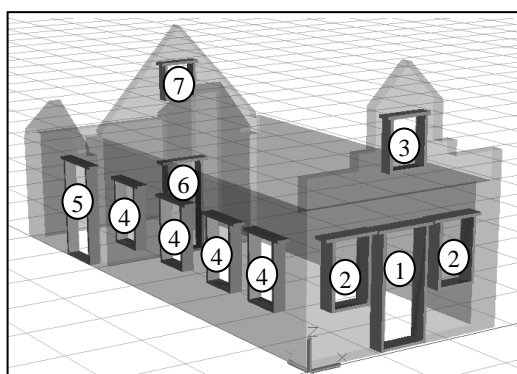


Figura 42. Designação dos vãos de janela e portas.

8.2 O efeito de escala

Para que o modelo se enquadre na base de assentamento, a escala real do modelo físico foi reduzida 4 vezes. Importa salientar que as dimensões dos blocos não foram reduzidas à escala, uma vez que o molde da prensa é de formato standard. Consequentemente as juntas, espessura do reboco tal como a estereotomia dos blocos das paredes em si, não são à escala. Para o resto do estudo foi desprezado este facto e considerou-se paredes com comportamento homogéneo independentemente da sua estereotomia.

8.3 Base de assentamento

A base de assentamento da construção consiste numa plataforma reclinável aproveitada a partir de uma antiga báscula de camião (Figura 43), com dimensões em planta de 3.90x1.90m, possuindo um actuador hidráulico no seu centro geométrico.



Figura 43. Báscula/Plataforma “antes e depois”

A ligação das paredes à fundação é representada por perfis UPN soldados à chapa de base. Os perfis serão colocados conforme a planta das paredes e funciona como um diafragma rígido em planta ao nível da base das paredes.

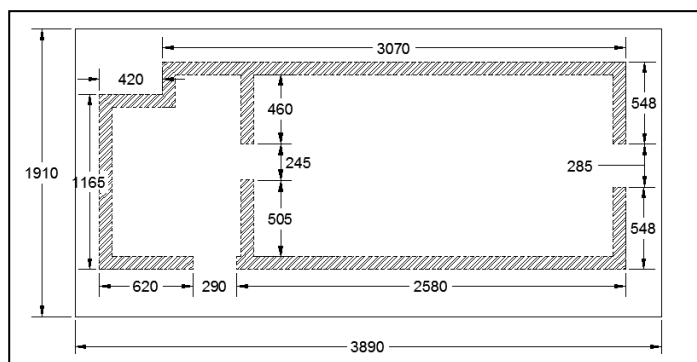


Figura 44. Planta de implantação da casa

8.4 Vãos de janelas e portas

A estrutura dos vãos é constituída por um esquadro em madeira. O lintel tem como função de distribuir as cargas pelas ombreiras, que são transmitidas por sua vez para o peitoril.

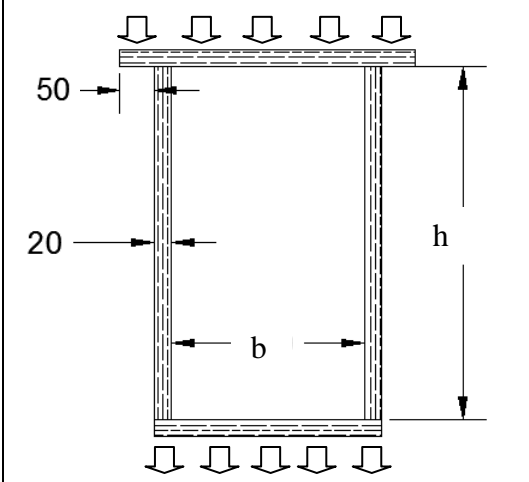
	Vão		h x b [mm]	Verificação
	V1	Porta Sul	750 x 285	KO
	V2	Janela Sul	415 x 230	KO
	V3	Janela de mansarda	305 x 220	KO
	V4	Janela Oeste	420 x 230	OK
	V5	Porta Oeste	680 x 290	OK
	V6	Porta interior	710 x 290	OK
	V7	Janela da empena	230 x 200	KO

Figura 45. Dimensões e designação dos vãos de janela e portas.

Do ponto de vista do dimensionamento e fazendo as conversões necessárias, a solução adoptada verifica todos os critérios de dimensionamento visto em 3.8, para a parede W e vão V6. Para a parede S, as abas e os comprimentos dos vãos “b” verificam de uma forma individual ($b < 120\text{cm}$) mas em termos de vãos e disposição relativamente ao comprimento da parede, estes não verificam. O mesmo se observa para o vão V7 da empena.

(ver Figura 81 e Figura 82 em Anexos)

8.5 Paredes

As paredes da construção original, com espessura real de 300 e 420 mm aproximadamente, serão reproduzidas por paredes em alvenaria de BTC. Os blocos serão produzidos em laboratório por prensa manual. As paredes são simples (um só pano) e autoportantes: os topos das paredes servirão de apoio simples à estrutura da cobertura.

De forma a respeitar a escala pré-estabelecida da casa foi necessário otimizar as quantidades e dimensões dos blocos. Assim definiu-se previamente a estereotomia de cada parede para cada tipo de blocos com o respectivo mapa de quantidades (Figura 46)

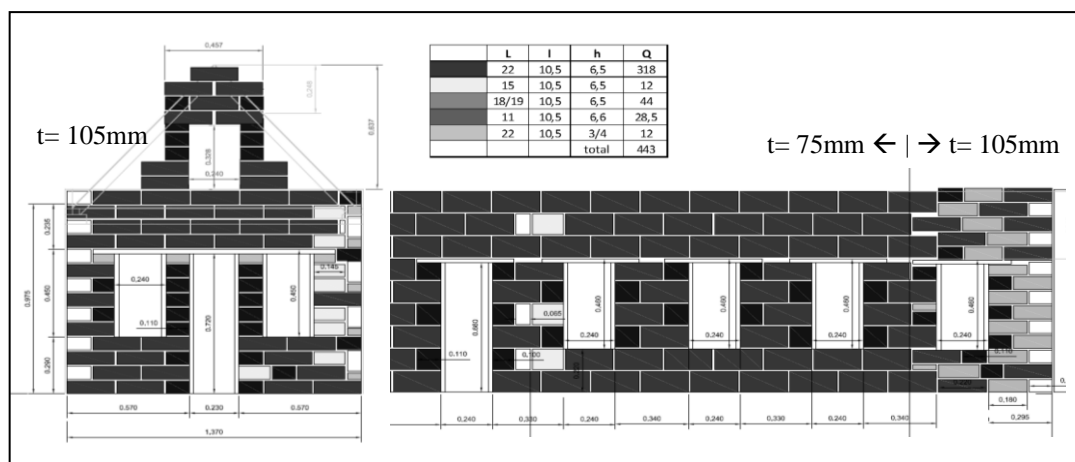


Figura 46. Estereotomia das paredes Sul e Oeste, e mapa de quantidades.

Para respeitar a escala reduzida da espessura das paredes, considerou-se assim a própria espessura ou largura do bloco como espessura da parede, que coincide com a espessura real reduzida a escala. Isto é: a parede S e parcialmente a parede W com espessura (t) de 105mm (ou 420/4), serão aparelhadas com blocos “a meia vez”. As restantes paredes com 75mm (ou 300/4) de espessura, aparelhadas com blocos “ao cutelo” (Figura 47).

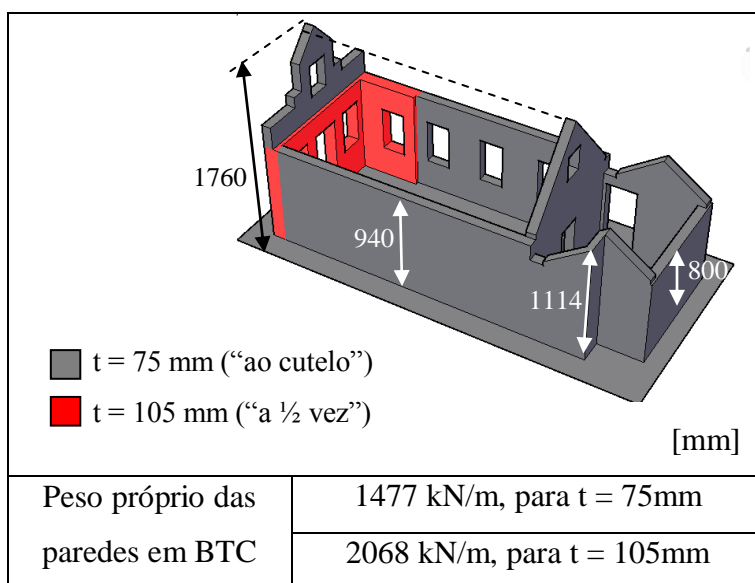


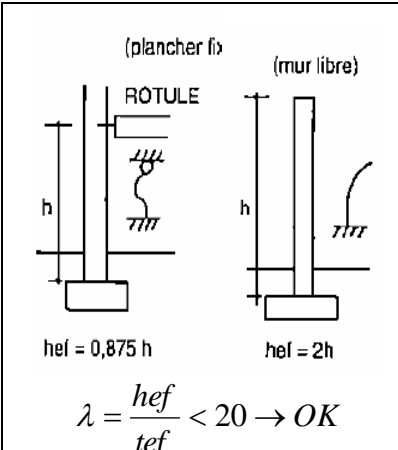
Figura 47. Configuração das paredes

Do ponto de vista do dimensionamento e fazendo as conversões necessárias, verifica-se o seguinte:

Considerando apoio encastrado com vão livre no meio da parede (para $hef = 2h$), nenhuma das paredes verificam a encurvadura (ou limites de esbelteza) pela CRAterre²³.

Já, considerando a cobertura fixa ou apoiado ao meio da parede ou nos cunhais ($hef = 0,75h$ e $hef = 0,875h$), verifica-se à encurvadura. (ver Figura 28, Figura 81 e Figura 82 dos Anexos)

Os resultados obtidos e as tensões admissíveis, σ_{adm} , segundo a norma francesa, são os seguintes (ver Quadro A.1 em anexos):

	Parede	hef	$\lambda = hef/tef$	σ_{adm} (MPa)
	W	2h	25 (KO)	-
		0,875h	11 (OK)	0,09
	E	2h	25 (KO)	-
		0,875h	11 (OK)	0,09
	S	2h	39 (KO)	-
		0,875h	8 (OK)	0,06
	N	2h	21 (KO)	-
		0,875h	9 (OK)	0,10
	Empena	2h	45 (KO)	-
		0,875h	11 (OK)	0,09

8.6 Cobertura

A cobertura do modelo será construída como uma estrutura triangular do tipo asna simples por linha e pernas, com ripado de madeira de pinho semelhante à cobertura original. O pavimento do sótão será representado por uma placa em MDF que contraventa a estrutura de madeira num conjunto, conferindo-lhe rigidez no seu plano. A cobertura será pré-montado no chão, elevada e pousada sobre as paredes sem qualquer tipo de ligação/fixação à estas ultimas.

²³ A relação altura Vs espessura da parede é obtida através do limite de esbelteza ($\lambda < 20$) que reduz o risco de encurvadura, segundo CRAterre.

Assim, a estrutura de madeira é considerada autoportante sem função de contraventamento da casa, descarregando as cargas no topo das paredes. As telhas são colocadas sobre as pernas e travadas/apoiadas às ripas, depois da estrutura de madeira ser colocada sobre as paredes. O estrutura triangular é unida pela cumeeira e pelo freixal.

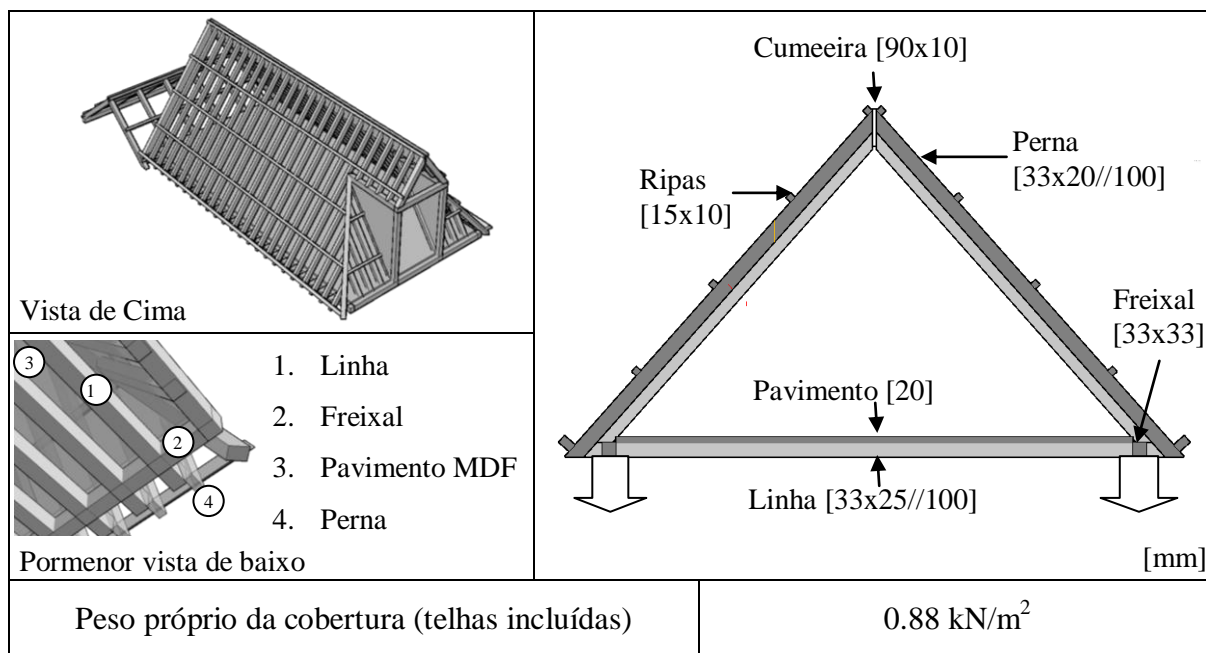


Figura 48. Modelo e esquema da estrutura de cobertura

(ver detalhes na Figura 84 dos Anexos)

9 A CONSTRUÇÃO

9.1 Implantação

A marcação da primeira fiada de blocos e ligação da casa à base de assentamento foi realizada através de perfis em aço UPN soldados à chapa de base. Depois da aplicação dos perfis, segue-se a implantação e aplicação dos vãos de porta. (Figura 49 e Figura 50). Os perfis representam a ligação à fundação e funcionam como um diafragma rígido ao nível da base das paredes e como base de assentamento do BTC.



Figura 49. Perfis UPN e implantação dos vãos de porta

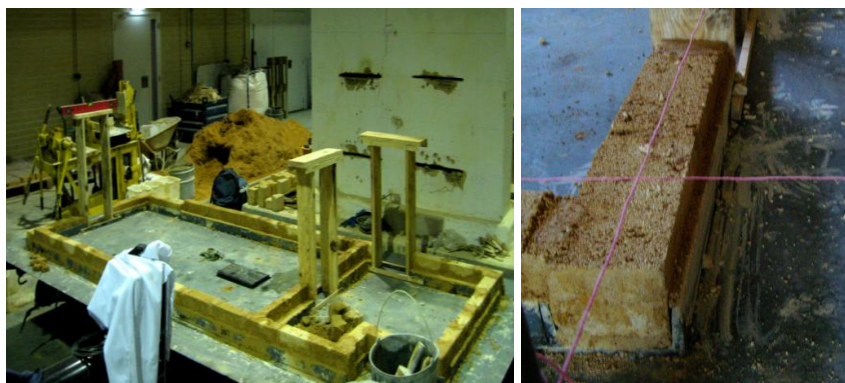


Figura 50. Assentamento da 1ª fiada de blocos.

Equipamento utilizado: aparelho de soldar, óculos de protecção, fio de marcação, esquadro e nível para os vãos de porta.

9.2 Vãos de janelas e portas

A armação em esquadro dos vãos foi realizada com tábuas em madeira de pinho, com 20mm de espessura, pregadas entre si. Cada esquadro foi pré-montado e depois assente sobre a parede durante o seu levantamento (Figura 51)

Pretende-se reproduzir os vãos de janelas reais da construção corrente de parede de adobo com a padieira (ou lintel) servindo de elemento resistente às cargas descendentes da parede.



Figura 51. Pré-montagem e colocação da armação de vão de janela.



Figura 52. Armações dos vãos na fachada sul e oeste.

Equipamento utilizado: bancada de corte, óculos de protecção, martelo, serra, luvas, esquadro, nível e talas de madeira para posicionamento dos vãos.

9.3 Levantamento das paredes

A forma de construir é semelhante ao do tijolo comum na construção tradicional.

A primeira fiada de blocos foi feita através do enchimento dos perfis em aço, aplicando um leito de argamassa e de uma fiada de blocos aparelhados “a meia vez” com 105 mm de largura (Figura 53). As seguintes fiadas foram assentes de acordo com a espessura da parede.

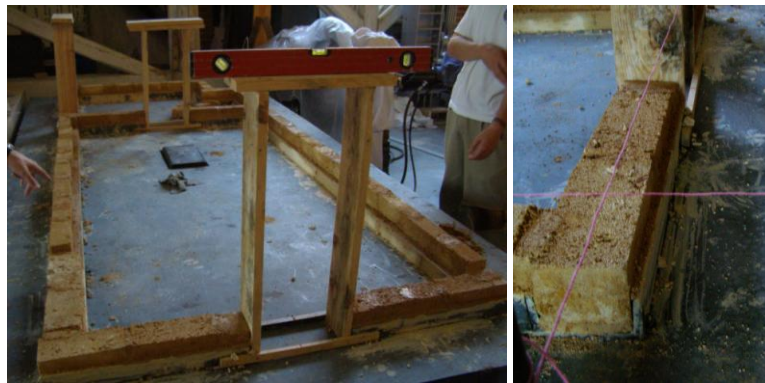


Figura 53. Assentamento da primeira fiada de blocos

De forma a respeitar a escala reduzida da espessura das paredes, considerou-se assim a própria espessura ou largura do bloco como espessura da parede. Ou seja, a parede S e parcialmente a parede W com espessura de 105mm, foram aparelhadas com blocos “à meia vez” (Figura 55). As restantes paredes com 75mm de espessura, aparelhadas com blocos “ao cutelo” (Figura 54). Ambas as paredes são de junta amarrada.



Figura 54. Parede E com aparelho “ao cutelo”



Figura 55. Parede S com aparelho “à meia vez”



Figura 56. Amarração nos cunhais e encontros de parede

A técnica de execução do assentamento de blocos foi efectuada de acordo com “as regras de boa prática” da construção tradicional e recomendações da CRAterre[11]:

- 1) Espalhamento de leito de argamassa com largura do pano na zona humedecida do assentamento (nº1 da Figura 57).
- 2) Molhagem prévia do bloco a assentar para evitar absorção de água de amassadura (nº2 da Figura 57).
- 3) Assentamento sobre leito de argamassa (nº3 e 4 da Figura 57), distribuindo com colher argamassa no topo do bloco para as juntas verticais.
- 4) Carregamento e percussão com o cabo da colher para garantir o posicionamento.
- 5) Raspagem e reaproveitamento da argamassa em excesso que possa refluir pelas juntas (reaproveitamento de argamassa para operações de assentamento seguintes)



Figura 57. Assentamento de blocos

Após e durante o levantamento das paredes, procedeu-se ao controlo e verificação:

- a) Do alinhamento das fiadas, controlado pelo fio que corre paralelamente à elas.
- b) Da verticalidade e horizontalidade com régua e nível
- c) Da ortogonalidade com esquadro ou fio.



Figura 58. Aspecto final do levantamento das paredes.

Equipamento utilizado: baldes, colheres, espátulas, bancada de corte para acertos de blocos, óculos de protecção, betoneira, luvas, fio, nível, esquadro e régua.

9.4 Argamassa de assentamento e reboco

No uso da argamassa, tanto de assentamento como de reboco, o ideal é ter que a sua composição se aproxime o mais possível da constituição do bloco para que toda a alvenaria tenha um comportamento físico-químico-mecânico homogéneo. Manteve-se então a mesma composição dos blocos para as argamassas, ou seja com traço 2:1:1 visto em 7.1.

A mistura foi realizada numa betoneira de eixo inclinável até obter massa homogénea e certo nível de trabalhabilidade (geralmente 2 à 4 min), sem formação de esferas da mistura. A sequência de introdução dos vários componentes foi a seguinte: areias, terra, cal e água.

Geralmente, as paredes em BTC podem ser deixadas sem reboco. Contudo optou-se por aplicar uma camada com cerca de 10mm, no interior e exterior, para se facilitar a visualização da fissuração durante o ensaio.

Tal como o assentamento de blocos, o reboco foi efectuado de acordo com “as regras de boa prática” da construção tradicional, neste caso: preparação da base com “chapisco”, aplicação do reboco à talocha, alisamento com régua.

Ambas as argamassas são aplicadas no suporte no seu estado plástico.



Figura 59. Aspecto final do reboco.

Equipamento utilizado: Betoneira, baldes, talocha, colher, espátula, luvas, régua.

9.5 Cobertura

Pretende-se criar uma estrutura autoportante que apoia nas paredes descarregando directamente sobre os topos. Para este efeito, a estrutura foi montado no chão (Figura 60) e depois levantada e pousada sobre a casa, sem nenhum ponto de fixação nas paredes (Figura 61).

A cobertura é constituída por uma estrutura triangular do tipo asna simples por linha e pernas, em madeira de pinho.

As pernas são aqui também consideradas como as varas da cobertura que recebe as ripas onde apoiam as telhas. As ripas e as linhas podem ser também consideradas como madres.

A placa em MDF, que representa o pavimento do soalho, desenvolve um papel de contraventamento da estrutura de madeira.

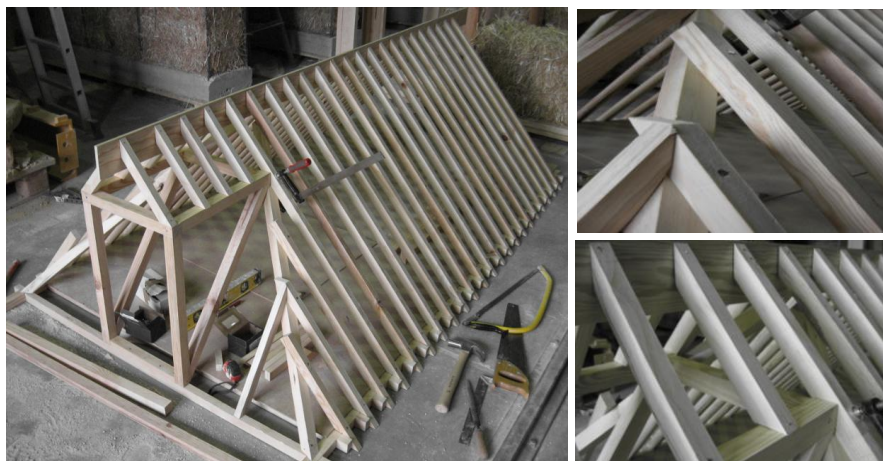


Figura 60. Pré-montagem da estrutura da cobertura

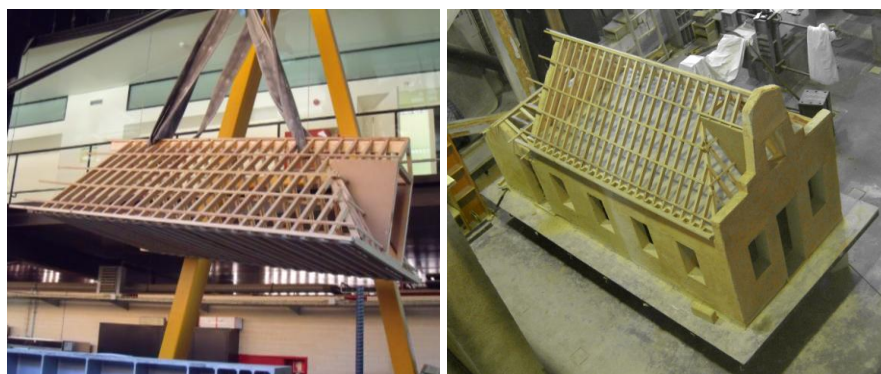


Figura 61. Elevação e aspecto final da estrutura da cobertura.

De forma a poder aproximar as telhas à escala, adoptou-se telhas do tipo LUSA “júnior”. As telhas foram aplicadas de baixo para cima, amarando a primeira fiada com arame. As telhas de cumeeira e espigão foram coladas com argamassa da mesma mistura da casa. (Figura 62)



Figura 62. Aplicação das telhas



Figura 63. Aspecto final da cobertura.

Equipamento utilizado: martelo, grosa, berbequim para furação da telha, luvas, óculos de protecção, mesa de corte de madeira, bancada de corte para acerto de telhas, serra e nível.

9.6 Caição

Misturou-se 1 volume de cal apagada com 3 volumes de água para se atingir a concentração aproximada recomendada de 15%. A mistura foi agitada antes e durante a aplicação.

Como o objectivo da caiação, neste caso concreto, não é estético mas sim para visualizar a fissuração no ensaio optou-se por 2 demãos em vez das 3 demãos recomendadas. Cada demão foi aplicada em intervalos de 24 horas para que a carbonatação da cal fizesse efeito. A 1º demão foi predominantemente na vertical e a 2º na horizontal.

Antes de qualquer demão, a base foi preparada por aspersão com água corrente.

Após umas adicionais 24 horas, a caiação foi fixa com aspersão com uma mistura leve de água e cal.



Figura 64. Aspecto final da casa

Equipamento utilizado: trinchas largas de cerda animal.

10 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO

Considera-se objecto do ensaio, o modelo experimental construído à escala reduzida, descrito nos capítulos anteriores. O objectivo do ensaio consistirá na caracterização do seu comportamento estrutural quando sujeito à ciclos de forças horizontais em várias direcções, simulando um sismo. O ensaio que simula o sismo em laboratório é do tipo estático, à diferença dos ensaios dinâmicos geralmente utilizados para simulação de sismos. Historicamente, foi realizado em 1973 na Universidade Católica do Peru, o primeiro ensaio estático de uma construção em adobe à escala real por BLONDET M. [28]

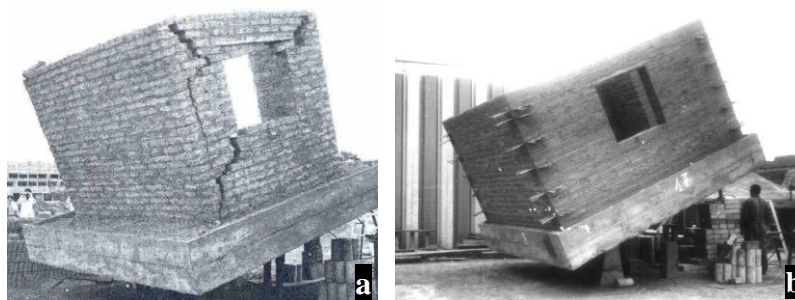


Figura 65. Módulo não reforçado (a) e reforçado (b) no primeiro ensaio estático em 1973. [28]

10.1 Princípio de base do ensaio estático

O ensaio baseia-se na 1ª e 2ª Lei fundamental de Newton (Figura 66a e b), e da equivalência do deslocamento de massas quando sujeita à uma força horizontal com o deslocamento de massas que ocorre com a rotação do sistema (Figura 66b e c). A mesma equivalência aplica-se em termos de componente horizontal da aceleração da gravidade (g). Pretende-se assim simular os deslocamentos horizontais das partículas pela acção S através da rotação (α) do modelo nos vários sentidos. A rotação irá traduzir os mesmos efeitos que uma acção horizontal ou sismo. A força horizontal (F_x) exercida no centro de massa do modelo será resultante da projecção do peso total (P) da casa, no plano da plataforma. (

Figura 66)

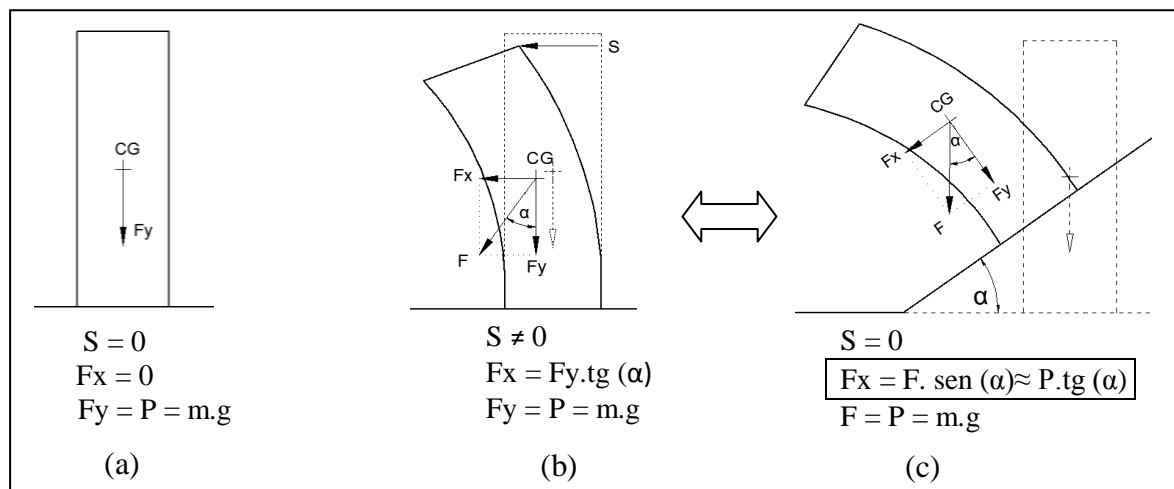


Figura 66. Princípio de base do ensaio

10.2 Descrição do protocolo de ensaio

Foi imposta ao modelo uma lei de deslocamento cíclica, com carga/descarga completa após cada ciclo, sendo o incremento de amplitude de 1° , repetindo-se até à rotura do modelo ao atingir a inclinação máxima de 9° segundo N e W, e de 10° segundo E. (Quadro 10.1 e Figura 67)

Ciclo	Direcção	α (deg)	$\text{sen}(\alpha).g$	$F_x = F.\text{sen}(\alpha)$ (kN)
1	E, W, N	1	0,02g	0,4
2	E, W, N	2	0,03g	0,9
3	E, W, N	3	0,05g	1,2
4	E, W, N	4	0,07g	1,8
5	E, W, N	5	0,09g	2,2
6	E, W, N	6	0,11g	2,7
7	E, W, N	7	0,12g	3,0
8	E, W, N	8	0,14g	3,4
9	E, W, N	9	0,16g	3,7
10	E	10	0,18g	4,1

Quadro 10.1. Ciclos e forças correspondentes do ensaio.²⁴

²⁴ Considera-se $m=2453\text{kg}$ ou $P=24,04\text{kN}$, calculado no Quadro A.14 do Anexo.

$\text{sen}(\alpha).g$ representa a componente horizontal da aceleração da gravidade.

O ensaio iniciou-se pela sequência descrita na figura abaixo, correspondendo à um ciclo.

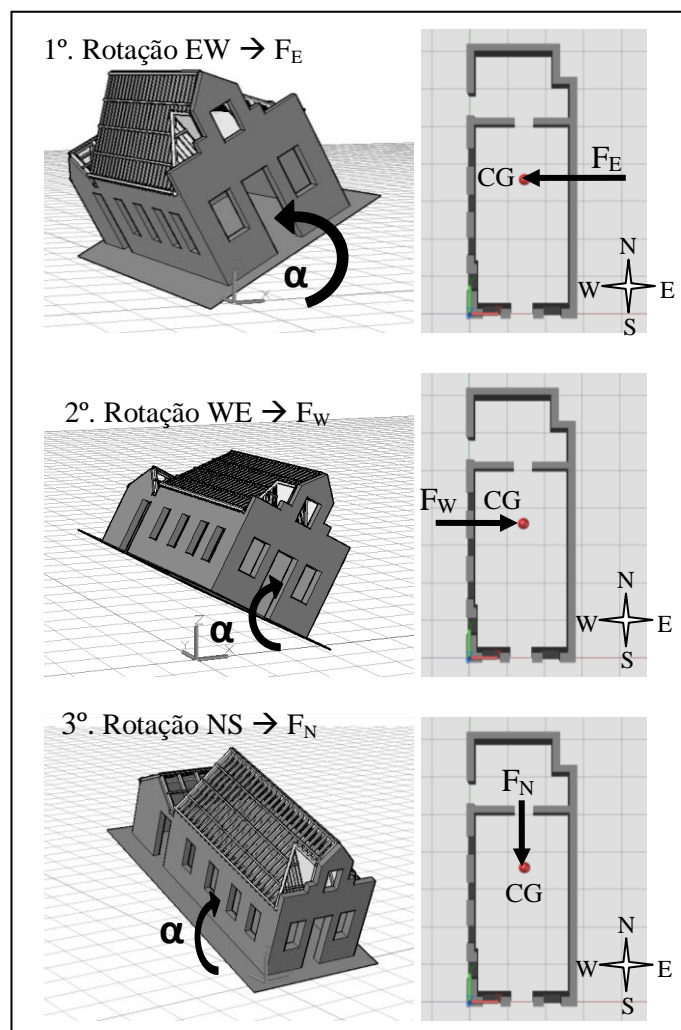


Figura 67. Sequência de um ciclo

10.3 Instrumentação do modelo

Foi definido um sistema de monitorização e registo de deslocamentos de modo a avaliar o seu comportamento fora do plano das paredes. (Figura 68, Figura 69, Figura 70, e Figura 70). A avaliação no plano da parede é efectuada por interpretação do mapa de danos.

Os mapas foram elaborados com os sensores em pontos representativos de resposta espectável para este tipo de estrutura e de forma a se criar uma malha, para se poder idealizar a deformada em cada fachada. Os sensores utilizados nas fachadas são do tipo LVDT – Linear Variable Differential Transducer.

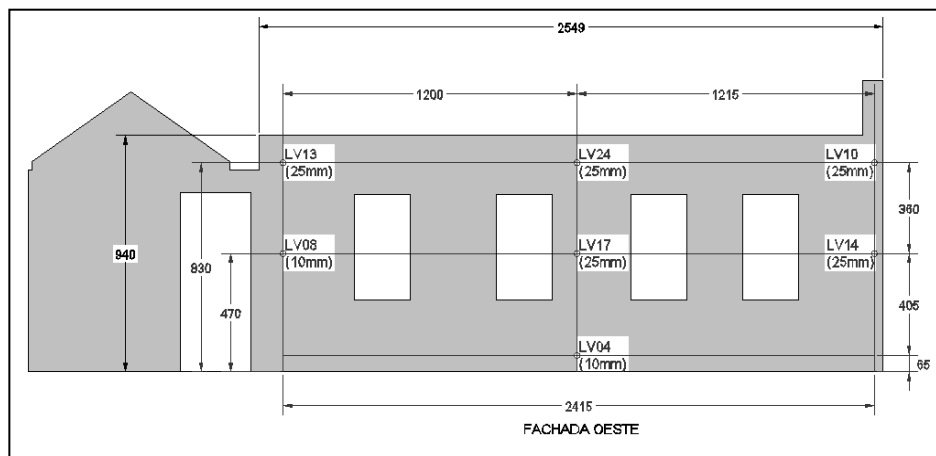


Figura 68. Mapa de sensores da fachada W.²⁵

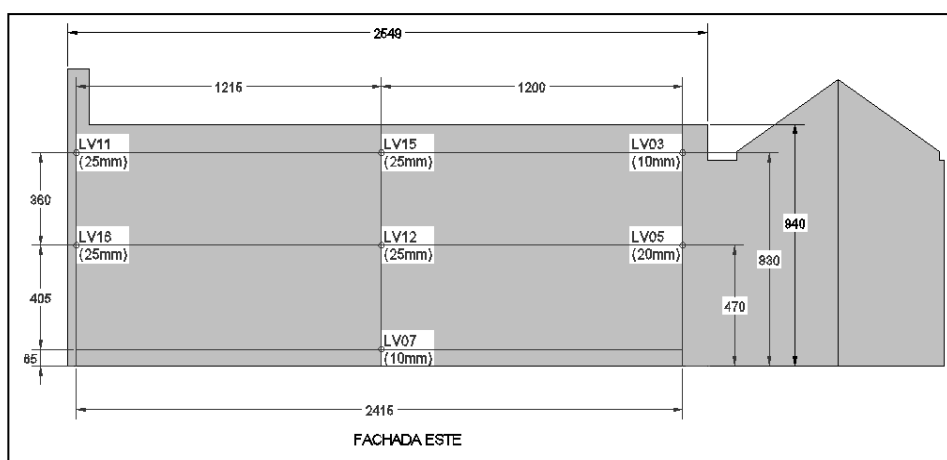


Figura 69. Mapa de sensores da fachada E

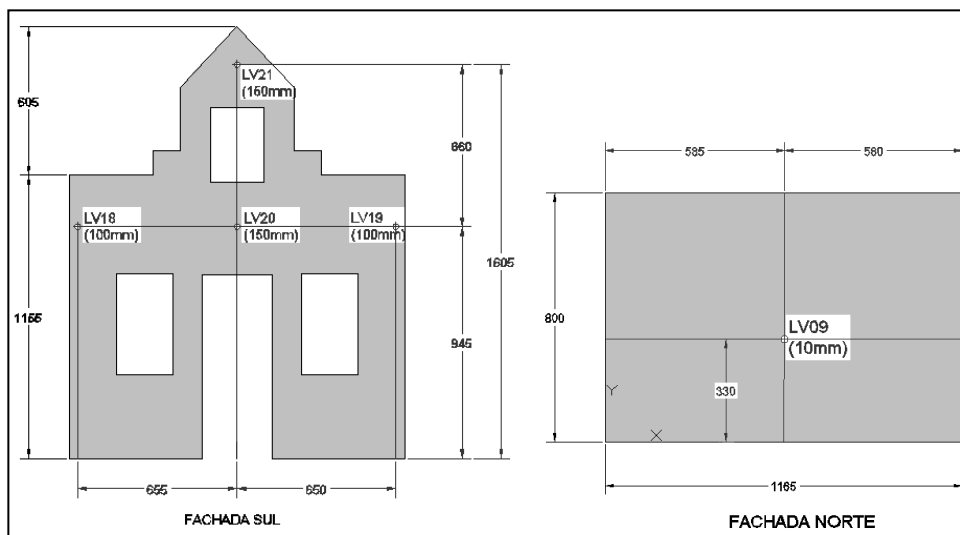


Figura 70. Mapa de sensores de fachada S e N

²⁵ Nomenclatura: LV13(25mm) = sensor n°13 com 25mm de curso

O controlo de inclinação da base de assentamento foi realizado com sensores de fio do tipo DWPT - Draw Wire Position Transducer. (Figura 71)

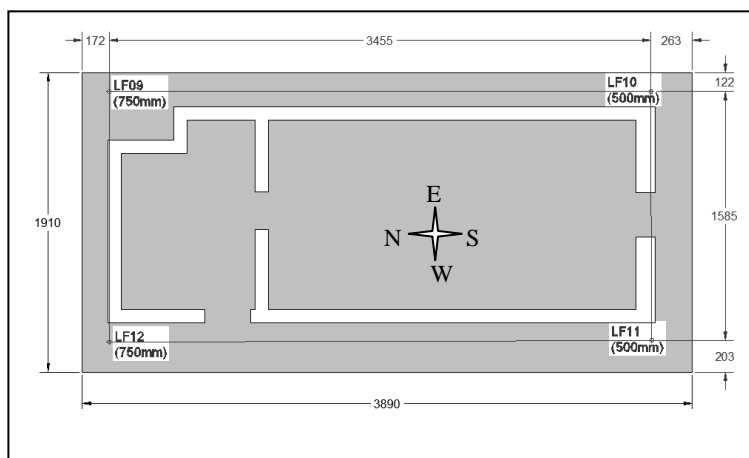


Figura 71. Mapa de sensores da base de assentamento

Para os suportes dos sensores LVDT foram adoptadas estruturas em alumínio (Figura 72a). Os sensores DWPT são fixos no chão (Figura 72b).

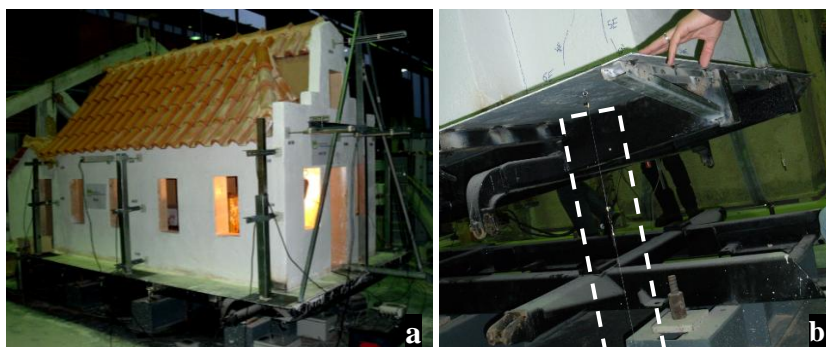


Figura 72. Suporte da instrumentação

10.4 Nomenclaturas

Após a realização do ensaio foi efectuado um levantamento exhaustivo dos danos ocorridos. Os danos foram identificados de acordo com a nomenclatura estabelecida (Quadro 10.3) e o tipo de fissura (Quadro 10.4).

Encontram-se, nos anexos na página 97, os mapas de danos detalhados com levantamento fotográfico e respectivas deformadas.

F _{1E}	1: 1º ciclo de carga
	E: segundo a direcção EW

Quadro 10.2. Nomenclatura de forças aplicadas

3N-ii	3: 3º ciclo de carga
	N: Força aplicada F _N
	ii: tipo de fissura (Quadro 10.4)

Quadro 10.3. Nomenclatura de registo de danos

Tipo	Amplitude (A)
i	$0,1 \text{ mm} \leq A < 0,7 \text{ mm}$
ii	$0,7 \text{ mm} \leq A < 1,0 \text{ mm}$
iii	$1,0 \text{ mm} \leq A < 1,5 \text{ mm}$
iv	$1,5 \text{ mm} \leq A < 2,0 \text{ mm}$
v	$A \geq 2,0 \text{ mm}$
d	Desligamentos

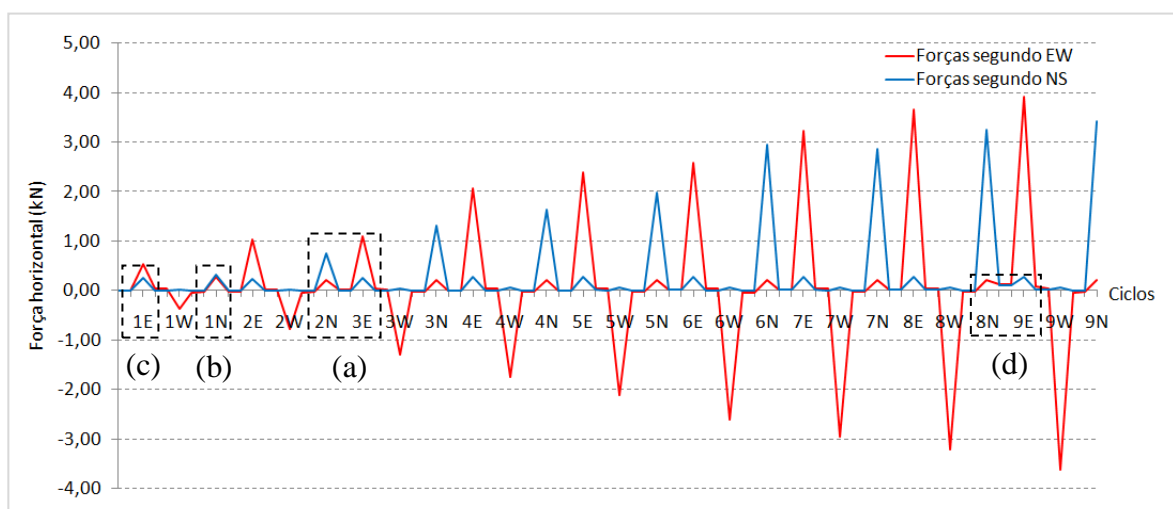
Quadro 10.4. Classificação do tipo de fissuras.

11 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DA CASA EM BTC

11.1 Evolução do ensaio cíclico

Através do registo de deslocamentos nos vários ciclos de carga e respectivas descargas, foi possível calcular a variação das forças horizontais aplicadas às paredes em cada um dos ciclos.

Importa salientar que, para um melhor entendimento, o gráfico abaixo foi simplificado através de dados filtrados. Alguns dados não coerentes não foram considerados.



- Observa-se que existe alguma variação de forças segundo EW (F_E) e forças segundo NS (F_N) em simultâneo em todos os ciclos, e que poderá originar algum esforço de torção e consequentemente fissuração por corte nas paredes e destacamentos de cunhais. Este fenómeno poderá ser devido à flexibilidade da plataforma.
- Os deslocamentos obtidos para 1N foram considerados tendo em conta que as forças F_E e F_N actuaram em simultâneo e com a mesma intensidade. Este fenómeno poderá dever-se a uma deficiência do sistema e/ou flexibilidade da plataforma.

- c) Em 1E, devido à uma deficiência do sistema, resultou um pico anormal da força. O valor foi adoptado para a força correspondente ao máximo deslocamento (ver Gráfico A.20 nos Anexos).
- d) Importa salientar também que entre o ciclo 8 e 9, o sistema registou 0,10 kN para uma situação de descarga ou repouso do sistema e que deveria apresentar na realidade um valor mais próximo de 0,00 kN. Os valores apresentados entre o ciclo 8 e 9, não foram considerados.

11.2 Comportamento da Fachada W

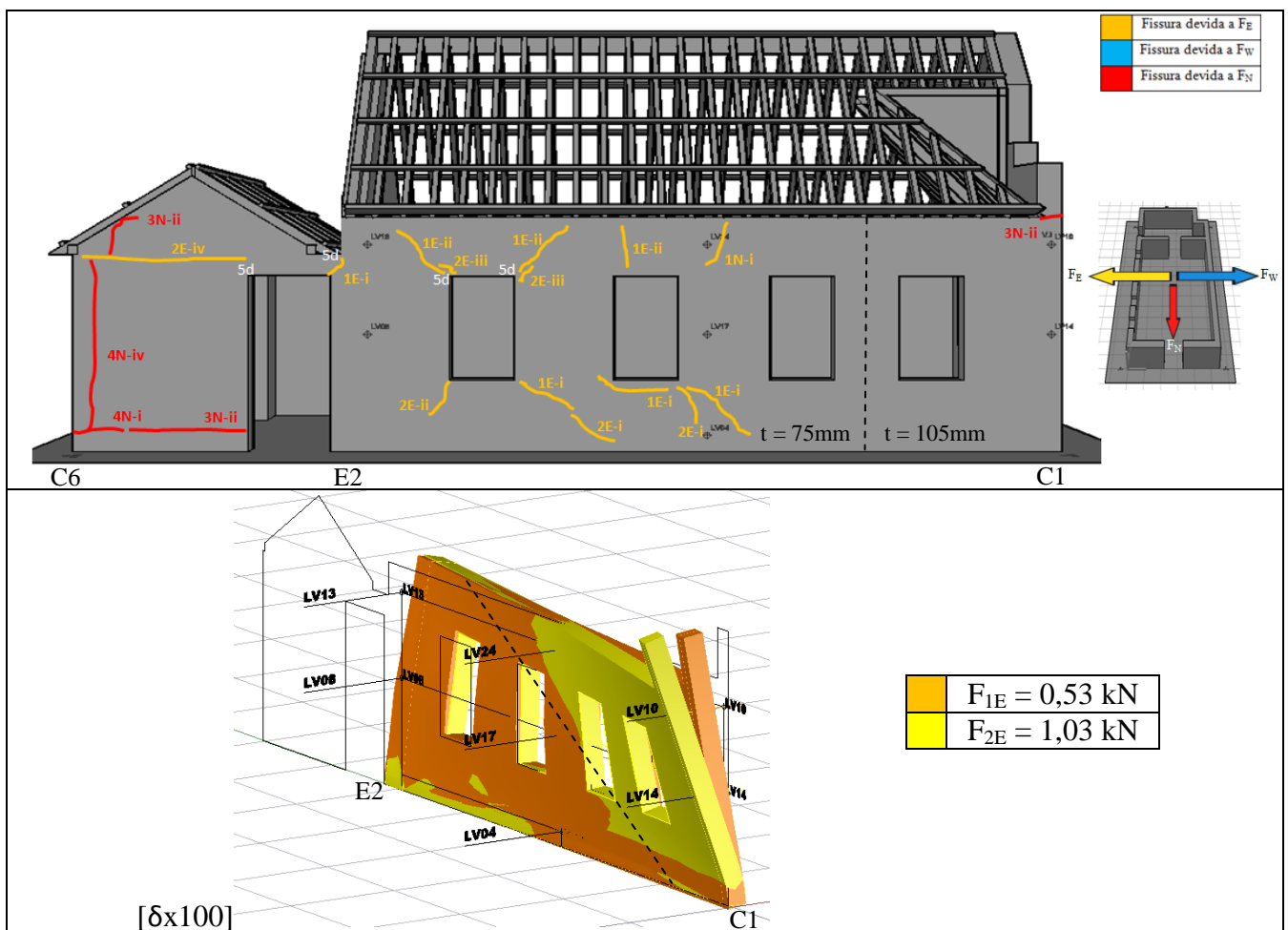


Figura 73. Mapa de danos da fachada W e sua deformada

11.2.1 No plano

A fissuração devida à força F_{3N} surge ao nível do cunhal C6 de forma ortogonal traduzindo tensões de corte (Figura 74b) na ligação dos panos.

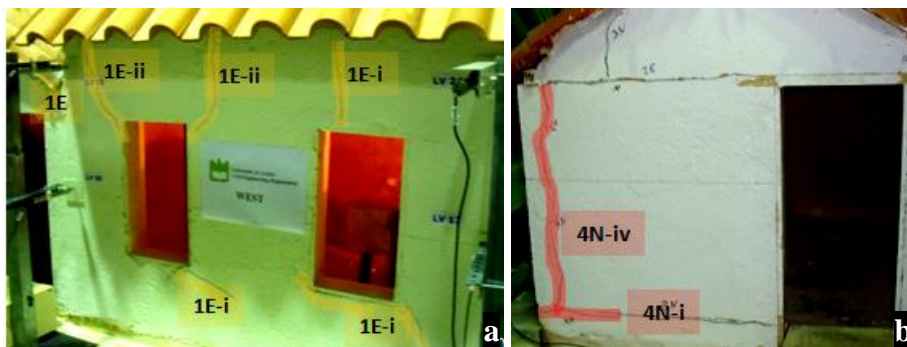


Figura 74. Danos significativos da fachada W

11.2.2 Fora do plano

A fissuração dominante aparece aqui como fissuração por flexão no contorno das aberturas, devida à força F_E , (Figura 74a). Como F_E actua com alguns resíduos de F_N visto em 11.1, existe algumas tensões por corte que originariam a fissuração oblíqua 1E.

Em termos de evolução, o aparecimento de novas fissuras iniciou-se no 1º ciclo, prolongando-se até ao 4º. Os desligamentos ocorrem a partir do 5º ciclo ao nível do encontro 2 e ao nível das ligações com as aberturas.

Do ponto de vista da deformada observa-se um fenómeno de torção da parede quando sujeito a forças F_E em volta de uma diagonal da parede, o que cria um aumento de tensões nessa zona e, consequentemente, a fissuração observada.

Comparando os resultados da verificação à encurvadura²⁶ no capítulo 8.5 com o mapa de danos, verificamos o aparecimento de fissuração 1E por flexão do lado da parede com $t=75\text{mm}$ onde a encurvadura não é verificada ($\lambda > 20$), já do lado da parede com $t=105\text{mm}$ e $\lambda < 20$ não se verifica fissuração expressiva o que comprova a validade da análise feita no capítulo 8.5.

Em termos de deslocamento e de forças aplicadas (análise nas paginas 108 e 109 dos Anexos), constata-se o seguinte:

²⁶ A verificação à encurvadura representa uma verificação em termos de esbelteza para poder relacionar os efeitos da parede fora do plano.

- Para a parede com 75 mm de espessura:

	Deslocamento	Força aplicada
Início de fissuração	1,82 mm	$F_{1E} = 0,53 \text{ kN}$
Deslocamento máximo segundo F_E	1,87 mm	$F_{9E} = 3,9 \text{ kN}$
Deslocamento máximo segundo F_W	0,7 mm	$F_{5W} = 2,12 \text{ kN}$
Variação máxima de deslocamento	1,90 mm	$F_9 = 3,8 \text{ kN}$
Deslocamento no fim da descarga de F_9	0,6 mm	$F_9 = 0 \text{ kN}$
Energia dissipada para F_9	$\approx 68\%$	

- Para a parede com 105 mm de espessura:

	Deslocamento	Força aplicada
Sem fissuração até ao fim do ensaio	2,91 mm	$F_{9E} = 3,9 \text{ kN}$
Deslocamento máximo segundo F_E	3,23 mm	$F_{1E} = 0,53 \text{ kN}$
Deslocamento máximo segundo F_W	1,5 mm	$F_{9W} = 3,62 \text{ kN}$
Variação máxima de deslocamento	4,4 mm	$F_9 = 3,8 \text{ kN}$
Deslocamento no fim da descarga de F_9	1,1 mm	$F_9 = 0 \text{ kN}$
Energia dissipada para F_9	$\approx 75\%$	

11.3 Comportamento da Fachada E

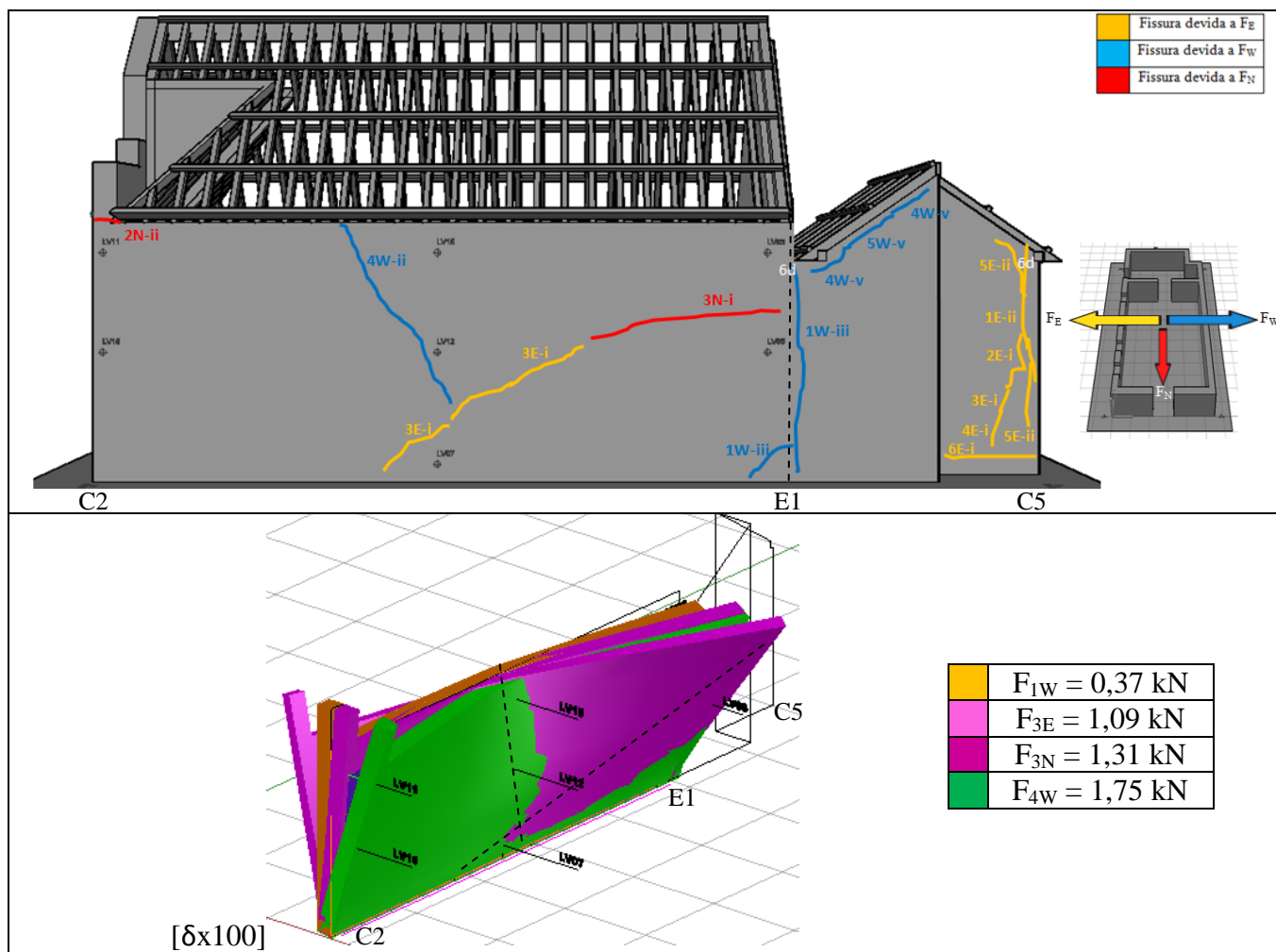


Figura 75. Mapa de danos da fachada E e sua deformada.

11.3.1 No plano

A fissuração de corte devida à F_{3N} , aparece na continuação da fissura diagonal 3E. (Figura 76c)

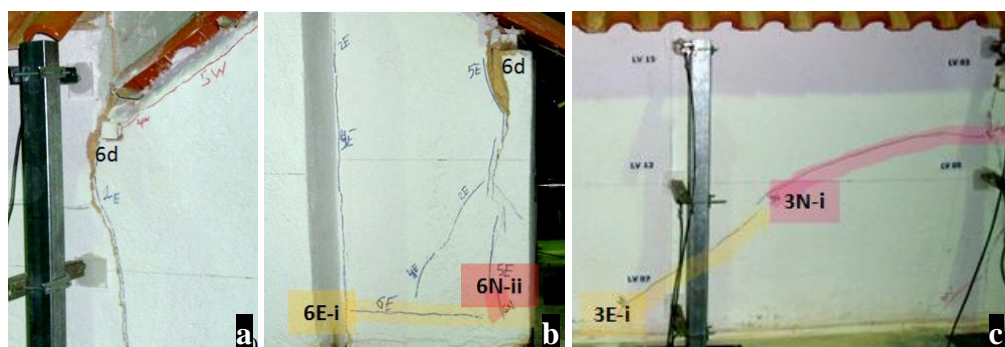


Figura 76. Danos significativos da fachada E

11.3.2 Fora do plano

A fissuração devida à força F_E aparece no cunhal C5, dando mais expressão ao desligamento dos panos (Figura 76b). Também surge no centro da parede de forma expressiva, a diagonal 3E que será prolongada por forças de corte F_{3N} (Figura 76c). Como F_E actua com alguns resíduos de F_N visto em 11.1, existe algumas tensões por corte que originarão a fissuração oblíqua 3E.

A fissuração por tracção, devida à força F_W , aparece ao nível do encontro 1, dando mais expressão ao desligamento entre os panos (Figura 76a). Também surge no centro da parede a diagonal 4W, que traduz uma fissura por flexão.

Em termos de evolução, o aparecimento de novas fissuras iniciou no 1º ciclo, prolongando-se até ao 6º. Os desligamentos ocorrem a partir do 6º ciclo ao nível do encontro 2 e cunhal C5. (Figura 75)

Comparando os resultados da verificação à encurvadura no capítulo 8.5 com o esquema anterior, observamos o aparecimento da fissuração 4W e 3E onde a encurvadura não se verifica ($\lambda > 20$), o que comprova a validade da análise feita no capítulo 8.5.

Do ponto de vista da deformada observa-se uma rotação da parede em volta dos eixos apresentados, coincidentes com a fissuração e consequentemente zonas de aumento de tensão.

Em termos de deslocamento e de forças aplicadas (análise nas paginas 110 e 111 dos Anexos), constata-se o seguinte:

	Deslocamento	Força aplicada
Início de fissuração no cunhal C5	2,2 mm	$F_{1W} = 0,4 \text{ kN}$
Início de fissuração na parede	5,45 mm	$F_{3E} = 1,1 \text{ kN}$
Deslocamento máximo segundo F_E	5,45 mm	$F_{2E} = 1,0 \text{ kN}$
Deslocamento máximo segundo F_W	5,4 mm	$F_{9W} = 3,6 \text{ kN}$
Variação máxima de deslocamento	5,4 mm	$F_2 = 0,9 \text{ kN}$
Deslocamento no fim da descarga de F_2	2,1 mm	$F_2 = 0 \text{ kN}$
Energia dissipada para F_2	$\approx 61\%$	

11.4 Comportamento da Fachada N

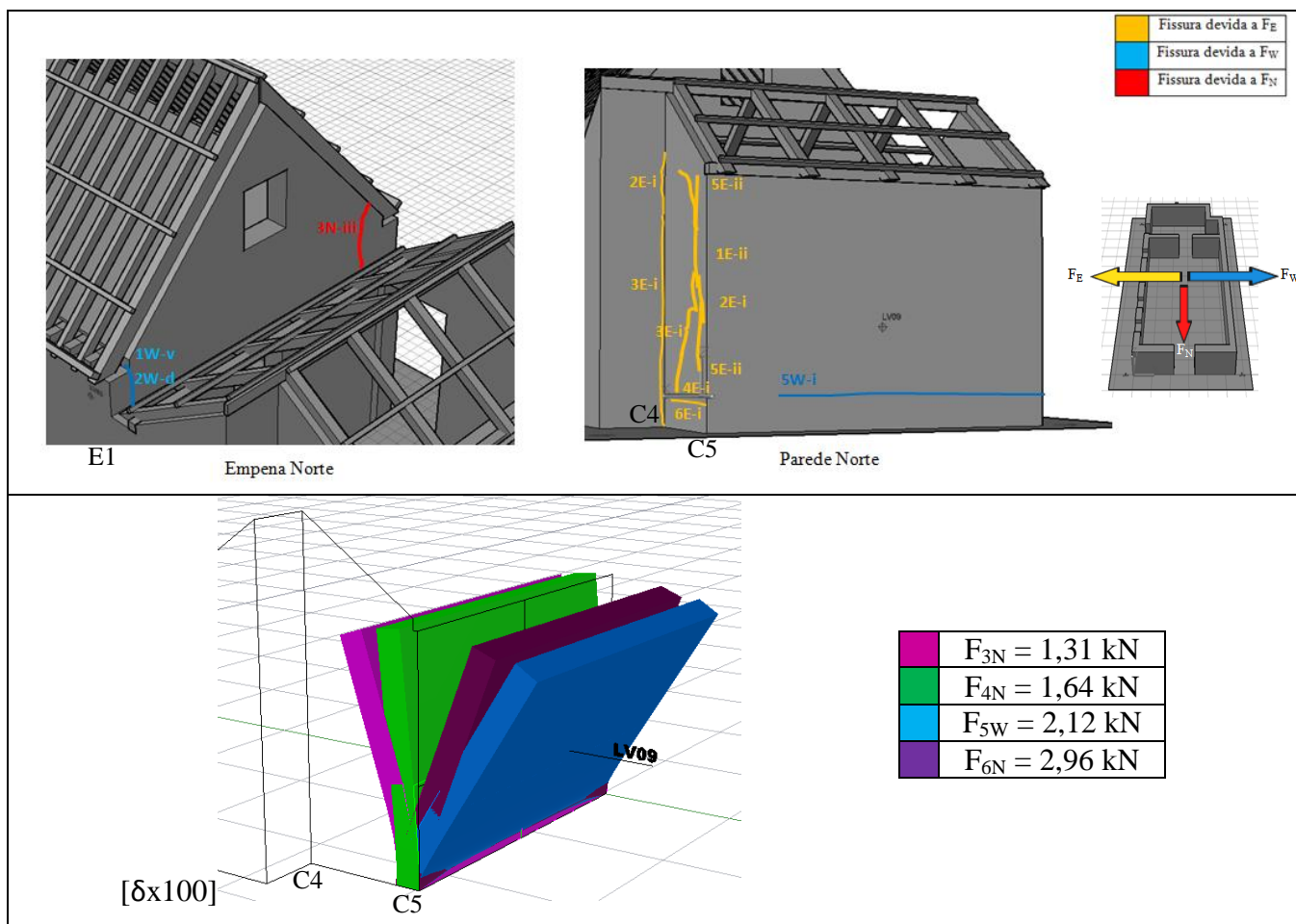


Figura 77. Mapa de danos da fachada N e sua deformada.

11.4.1 No plano

Após vários ciclos, a fissuração típica da flexão surge no entanto devida à força de corte F_{5W} .

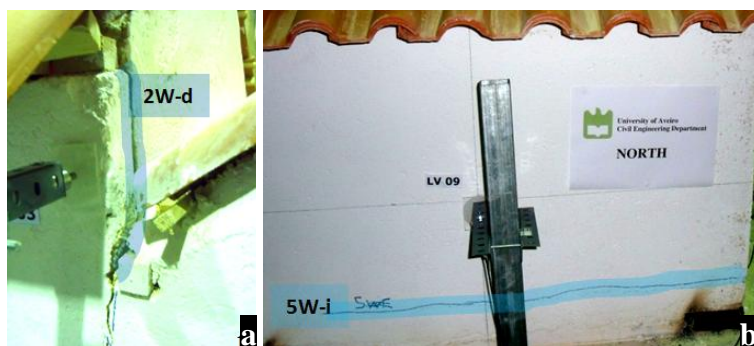


Figura 78. Danos significativos da fachada N

11.4.2 Fora do plano

Observa-se fissuração por tracção no canto E da empena, dando expressão ao desligamento dos panos (Figura 78a). A fissuração, devida à F_E , aparece verticalmente ao nível dos cunhais C4 e C5. (Figura 76b)

Em termos de evolução, o aparecimento de novas fissuras iniciou no 1º ciclo, prolongando-se até ao 6º. Os desligamentos ocorrem a partir do 2º ciclo ao nível da empena do encontro 1. (Figura 77)

Comparando os resultados da verificação à encurvadura no capítulo 8.5 com o esquema seguinte, observamos o aparecimento da fissuração 5W onde a encurvadura não se verifica ($\lambda > 20$), o que comprova a validade da análise feita no capítulo 8.5.

Em termos de deslocamento e de forças aplicadas (análise nas paginas 112 e 113 dos Anexos), constata-se o seguinte:

	Deslocamento	Força aplicada
Início do desligamento da parede	0,6 mm	$F_{3N} = 1,6 \text{ kN}$
Início de fissuração na parede	1,6 mm	$F_{5W} = 2,1 \text{ kN}$
²⁷ Deslocamento máximo segundo F_N	1,4 mm	$F_{1N} = 0,3 \text{ kN}$
Variação máxima de deslocamento	1,4 mm	$F_{1N} = 0,3 \text{ kN}$
Deslocamento no fim da descarga de F_1	0,3 mm	$F_1 = 0 \text{ kN}$
Energia dissipada para F_1	$\approx 79\%$	

²⁷ F_{1N} actua em simultâneo com F_E . Ver 11.1

11.5 Comportamento da Fachada S

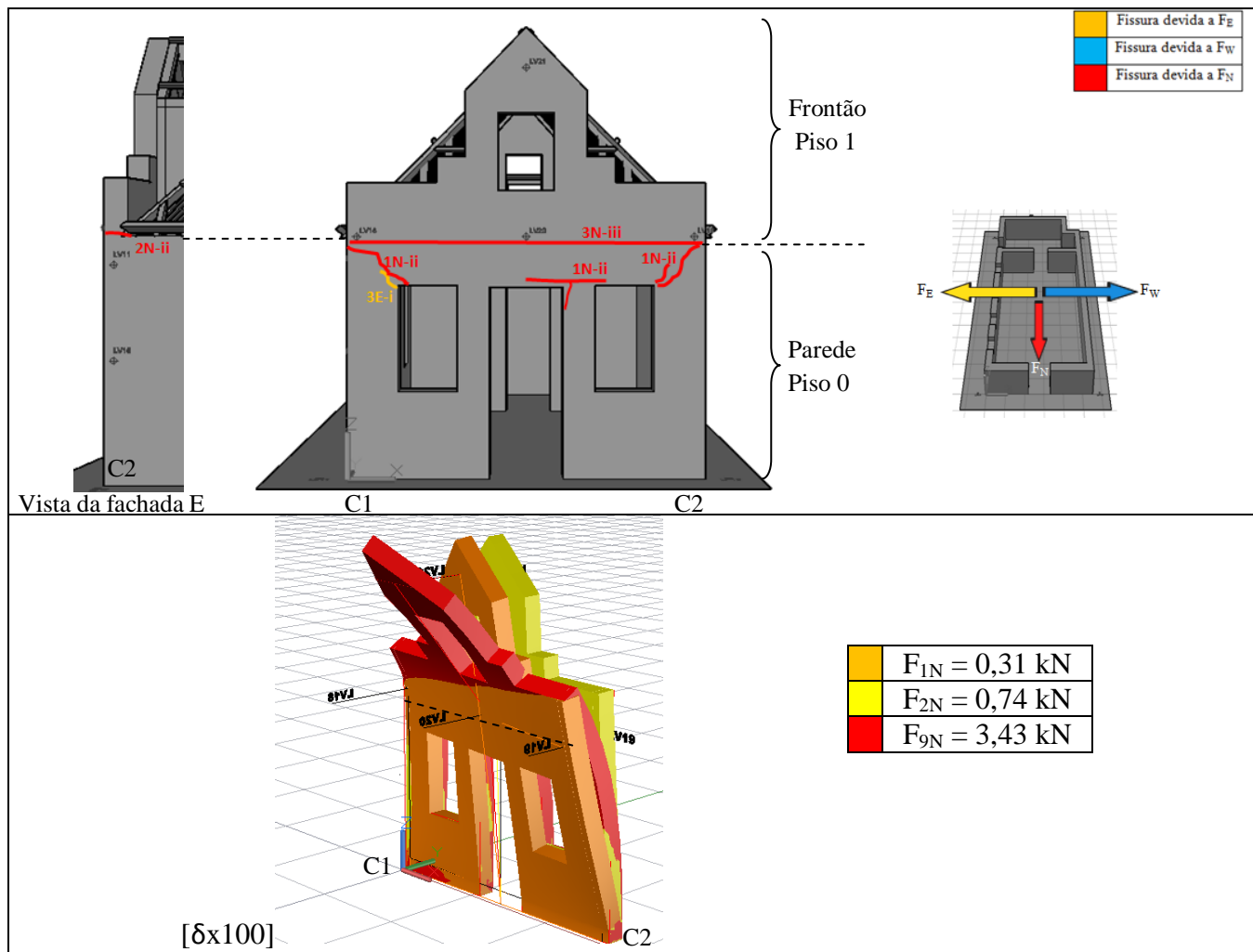


Figura 79. Mapa de danos da fachada S e sua deformada.

11.5.1 No plano

As fissuras oblíquas 1N acima das aberturas, típicas da fissuração ao corte, explica-se pelo facto de forças F_E e F_N actuarem em simultâneo e com a mesma intensidade. (ver explicação em 11.1). Assim estas fissuras serão o produto de $F_E = 0,31 \text{ kN} = F_{1N}$.

A fissuração F_{3E} surge no prolongamento de fissuras ditas 1N, ao corte.

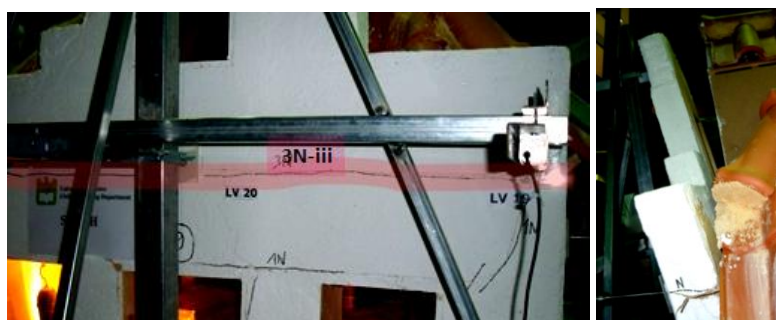


Figura 80. Linha de rotura da fachada S

11.5.2 Fora do plano

A fissuração por flexão, devida à Força F_N , aparece como dominante na fachada. Encontra-se ao nível da base do frontão e acima das aberturas (Figura 80a). A rotura do frontão no 9º ciclo surge ao nível da fissura longitudinal 3N (Figura 80b). Esta fissura iniciou por flexão com F_{2N} ao nível do cunhal C2.

Em termos de evolução, o aparecimento de novas fissuras iniciou no 1º ciclo, prolongando-se até ao 3º. Os desligamentos ocorrem a partir do 1º ciclo ao nível das ligações com as aberturas. (Figura 79)

Comparando os resultados da verificação à encurvadura no capítulo 8.5 com o esquema anterior, comprova-se a validade da verificação.

Do ponto de vista da deformada observa-se uma rotação ao nível da base do frontão coincidente com a linha de rotura 3N.

Em termos de deslocamento e de forças aplicadas (análise nas páginas 115 e 115 dos Anexos), constata-se o seguinte:

- Ao nível do frontão (pisos 1)

	Deslocamento	Força aplicada
Início da fissuração na linha de rotura	0,7 mm	$F_{2N} = 0,7 \text{ kN}$
Deslocamento máximo segundo F_N	1,7 mm	$F_{8N} = 3,2 \text{ kN}$
Rotura do frontão	$>1,7 \text{ mm}$	$F_{9N} = 3,4 \text{ kN}$
Variação máxima de deslocamento	1,7 mm	$F_{8N} = 3,2 \text{ kN}$
Deslocamento no fim da descarga de F_8	$\approx 0,4 \text{ mm}$	$F_8 = 0 \text{ kN}$
Energia dissipada para F_8	$\approx 76\%$	

- Ao nível da parede (piso 0)

	Deslocamento	Força aplicada
Início de fissuração na parede	2,7 mm	$F_{1N} = 0,3 \text{ kN}$
Deslocamento máximo segundo F_N	2,7 mm	$F_{1N} = 0,3 \text{ kN}$
Variação máxima de deslocamento	2,7 mm	$F_{1N} = 0,3 \text{ kN}$
Deslocamento no fim da descarga de F_1	0,5 mm	$F_1 = 0 \text{ kN}$
Energia dissipada para F_1	$\approx 81\%$	

11.6 Determinação da frequência natural por decremento logarítmico

O decremento logarítmico, por excitação de um impulso no sistema é obtido através da razão entre duas amplitudes sucessivas. O termo decremento logarítmico refere-se a taxa de redução logarítmica, relacionada com a redução do movimento após o impulso, pois a energia é transferida para outras partes do sistema ou é absorvida pelo próprio elemento. Quando um sistema oscilatório com amortecimento é excitado por um impulso, sua resposta vem na forma seguinte [31]:

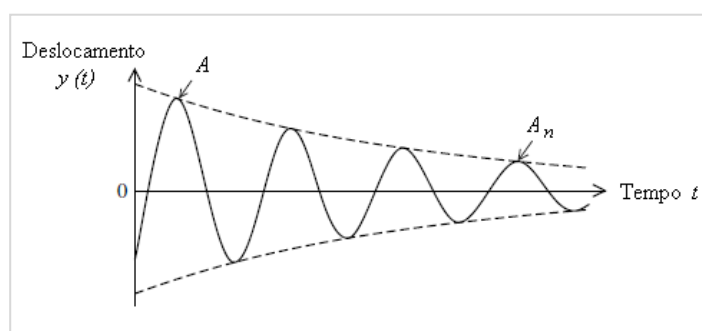


Gráfico 11.2. Gráfico típico do movimento oscilatório amortecido

No gráfico seguinte, resultante dos dados obtido no ensaio, observam-se alguns picos de deslocamento provocado por um impulso devido por algum tipo de deficiência do sistema (Gráfico 11.3). No entanto podemos aproveitar esses dados para determinação da frequência do sistema e conseqüentemente o módulo de elasticidade, E . Os picos observados no 1º ciclo, quando ampliados no Gráfico 11.4 e transposto para eixos

cartesianos no Gráfico 11.5, o gráfico assemelha-se ao movimento oscilatório amortecido do Gráfico 11.2.

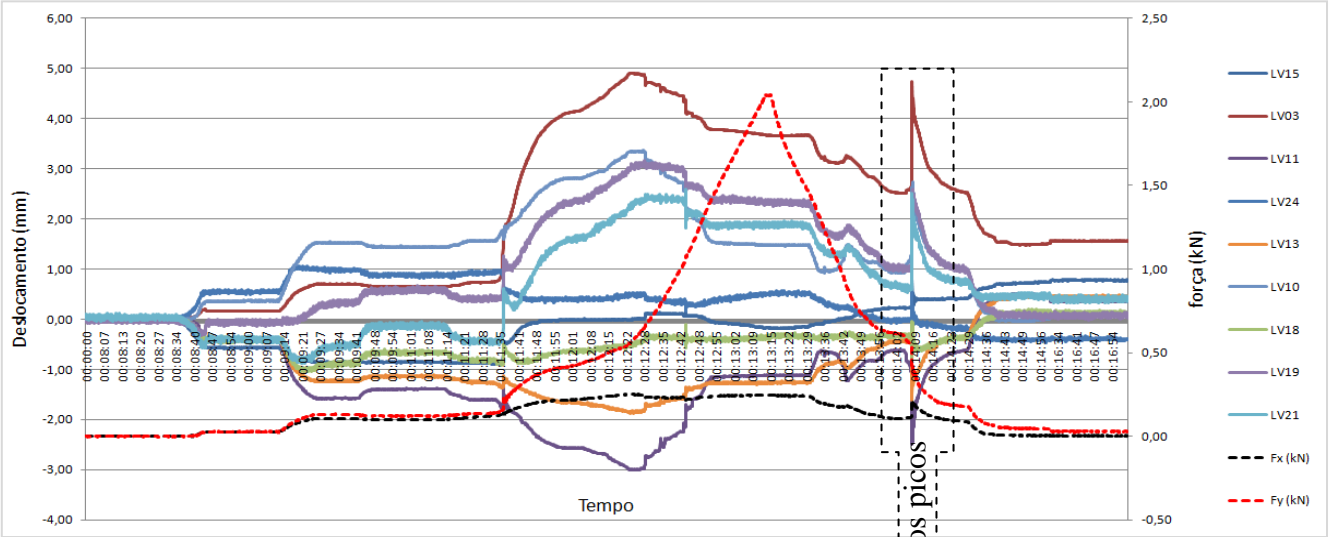


Gráfico 11.3. Lei de deslocamento para o ciclo 1E nos topos das paredes

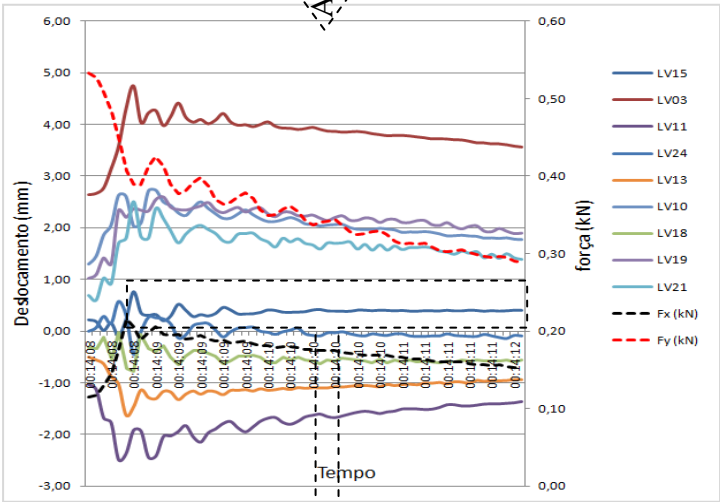
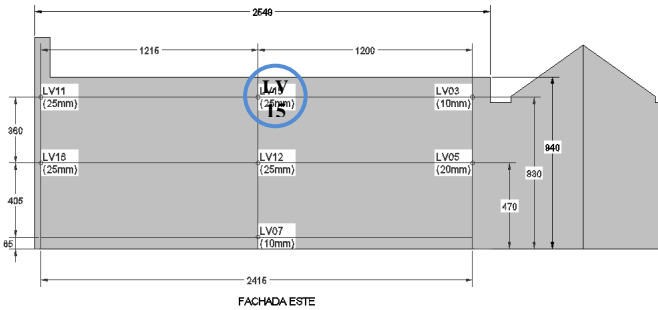


Gráfico 11.4. Ampliação dos picos.

Fachada E	LV15
z (mm)	830
Ao (mm)	0,725
An (mm)	0,012
n	9
δ	0,45569611
ζ	0,07233629
Wo (rad/s)	33,50
wd (rad/s)	33,41224
ϕ (deg)	-30
ϕ (rad)	-0,5235988
m (kg/m)	314,2
I (m ⁴)	6,2E-05
E (Mpa)	219,00

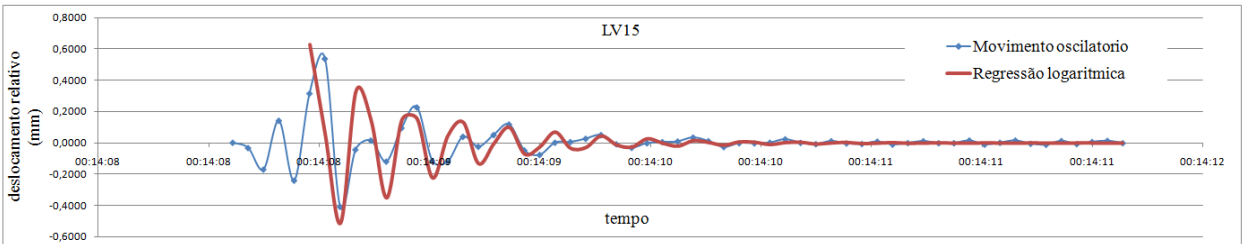


Gráfico 11.5. Regressão logarítmica do movimento oscilatório amortecido num impulso em 1E para LV15.

Regressão do movimento oscilatório do ensaio pelo método do incremento logaritmico [31]:

1) Amplitude A e $A_n \rightarrow$ Decremento logaritmico $\delta = \frac{1}{n} \ln \left(\frac{A}{A_n} \right)$

Em que: n = Numero de picos

A = Amplitude do primeiro pico

A_n = Amplitude do último pico

2) Decremento logaritmico $\delta = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \rightarrow$ índice de amortecimento ζ

3) Índice de amortecimento $\zeta \rightarrow$ regressão logaritmica ao gráfico do movimento oscilatório amortecido obtido no ensaio através da equação seguinte:

$$y(t) = A_0 \cdot e^{-\zeta \cdot w_0 \cdot t} \cdot \cos(w_d \cdot t + \varphi)$$

Em que:

$$w_d = w_0 \sqrt{1 - \zeta^2} = \text{frequência natural amortecida (rad/s)}$$

w_0 = frequência natural, obtida por tentativas (rad/s)

A_0 = Amplitude inicial (mm)

ϕ = Fase inicial (rad), obtido por ajusto ao gráfico do ensaio.

Admitindo:

$$\begin{cases} \text{Um sistema sub-amortecido } (0 < \zeta < 1) \\ \text{Sistema com 1 grau de liberdade:} \end{cases}$$

Determinada a função da regressão logaritmica que se aproxima do movimento oscilatório do ensaio, podemos determinar o módulo de elasticidade. Assumindo para a parede um funcionamento em consola de um elemento com secção transversal constante, encastrado na base e com massa uniformemente distribuída em altura, pode estimar-se o módulo de elasticidade através da seguinte expressão[32]:

$$E = \frac{w^2 . m . L^4}{1,875^4 . I}$$

Em que:

E = modulo de elasticidade médio da parede (MPa)

w = frequência própria da parede (em rad/s)

I = momento de inércia da secção transversal (mm⁴)

m = massa por unidade de comprimento em altura (kg/mm)

L = altura total (mm)

A frequência própria é obtida através da regressão no Gráfico A.21, Gráfico A.22 e Gráfico A.23 dos Anexos. As variáveis I , m , e L são obtidos no Quadro A.14 dos Anexos. Através deste método de aproximação das frequências e do módulo de elasticidade, apresentam-se os resultados obtidos no momento da descarga do ciclo 1E, em termos médios (ver detalhe no Quadro A.12 dos Anexos):

Fachada	ζ	w_o (rad/s)	E (MPa)
E	0,066	33	217
W	0,101	23	103
S	0,024	32	184

11.7 Análise de resultados

Do ensaio realizado constata-se que os deslocamentos máximos e a fissuração surgem logo no 1º ciclo com deslocamentos superiores a 1,8 mm em todas as paredes excepto para a parede E. Este facto pode ser explicado pela ausência de aberturas e pelo seu módulo de elasticidade superior às restantes paredes. Nesta mesma parede, a fissuração surge quando a força atinge $F_{3E}=1,1\text{kN}$, no entanto o seu deslocamento máximo de 5,45mm surge antes, para $F_{2E}=1,0\text{kN}$.

A parede W com 105mm de espessura, única parede que cumpre todas as recomendações da CRAterre, não apresentou fissuração em todo o ensaio, registando-se um deslocamento máximo de 3,23mm. Verifica-se para a mesma zona, que a estereotomia do aparelho adoptado na transição de espessura foi bem sucedida por não apresentar fissuração visível.

Em termos de colapso, esta surge ao nível do frontão da parede S. A linha de rotura longitudinal surge para $F_{2N}=0,7\text{kN}$ e o seu colapso por flexão surge para $F_{9N}=3,4\text{kN}$, momento em que põe termo ao ensaio. Também se confirma a sua fragilidade através da sua esbelteza superior às restantes ($\lambda=39$) e pelo não cumprimento das disposições geométricas da CRAterre.

Da análise fora do plano, obtemos os seguintes resultados por ordem cronológica (ordem crescente de forças aplicadas ou aceleração da gravidade horizontal, %g), por ocorrência, deslocamento máximo, e variação máxima:

11.7.1 Por ocorrência da fissuração

Força (kN)	%g	Parede	Ocorrência	δ (mm)	λ	E (MPa)
$F_{1E} = 0,53$	2	W Parede com $t=75\text{mm}$	Início de fissuração	1,82	25	103
$F_{1W} = 0,4$	2	E No cunhal C5	Início de fissuração	2,2	25	217
$F_{1N} = 0,3$	2	S Parede (pisso 0)	Início de fissuração	2,7	39	184
$F_{2N} = 0,7$	3	S Frontão (pisso 1)	Início de fissuração na linha de rotura	0,70	39	*
$F_{3E} = 1,1$	5	E No pano	Início de fissuração	5,45	25	217
$F_{3N} = 1,6$	5	N No pano	Início do desligamento da parede	0,6	21	**
$F_{5W} = 2,1$	9	N No pano	Início de fissuração	1,6	21	**
$F_{9E} = 3,9$	16	W Parede com $t=105\text{mm}$	Sem fissuração desde o início do ensaio	2,91	17,9	103
$F_{9N} = 3,4$	16	S Frontão (pisso 1)	Rotura	>1,7	39	*

11.7.2 Por deslocamentos máximos

Força (kN)	%g	Parede	δ_{\max} (mm)	λ	E (MPa)
$F_{1E} = 0,53$	2	W parede com t=105mm	3,23	17,9	103
$F_{1N} = 0,3$	2	N No pano	1,4	21	**
$F_{1N} = 0,3$	2	S Parede (pis0 0)	2,7	39	184
$F_{2E} = 1$	3	E No pano	5,45	25	217
$F_{5W} = 2,12$	9	W parede com t=75mm	0,7	25	103
$F_{8N} = 3,2$	14	S frontão (pis0 1)	1,70	39	*
$F_{9E} = 3,9$	16	W parede com t=75mm	1,87	25	103
$F_{9W} = 3,6$	16	E No pano	5,4	25	217
$F_{9W} = 3,62$	16	W parede com t=105mm	1,5	17,9	103

11.7.3 Por variação máxima de deslocamentos

Força (kN)	%g	Parede	$\Delta\delta_{\max}$ (mm)	λ	E (MPa)
$F_{1N} = 0,3$	2	N No pano	1,4	21	**
$F_{1N} = 0,3$	2	S Parede (pis0 0)	2,7	39	184
$F_2 = 0,9$	3	E No pano	5,4	25	217
$F_{8N} = 3,2$	14	S frontão (pis0 1)	1,70	39	*
$F_9 = 3,8$	16	W parede com t=75mm	1,9	25	103
$F_9 = 3,8$	16	W parede com t=105mm	4,4	17,9	103

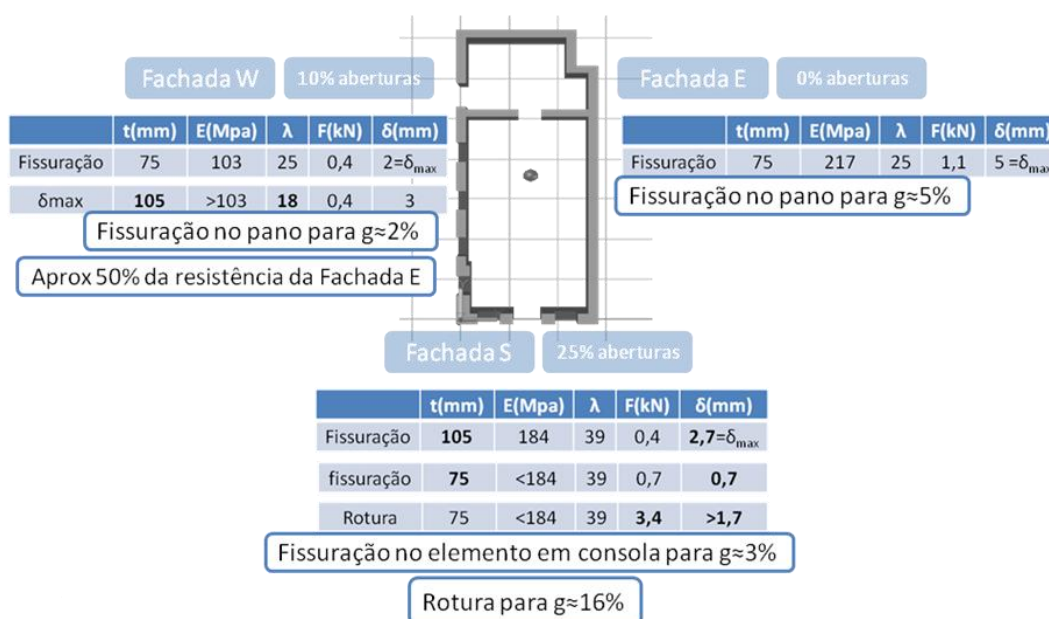
** Valores não calculados devido a posição do sensor/ * valores incoerentes não considerados

12 CONSIDERAÇÕES FINAIS

12.1 Conclusão

O comportamento frágil que se observa nas estruturas de alvenaria de BTC quando solicitados horizontalmente, é uma problemática quando localizados em zonas de elevado risco sísmico.

Com o trabalho desenvolvido, obtiveram-se alguns conhecimentos que contribuem na avaliação do comportamento de estruturas de alvenaria de BTC, quando sujeitas a esforços cíclicos, como os induzidos pelos sismos. Do ensaio, caracterizou-se as frequências de forma indirecta, caracterizou-se a evolução da força versus deslocamentos, que permitiu caracterizar as deformações máximas, modos de rotura e capacidade resistente das paredes.



Fazendo uma comparação entre a parede E e W, ambas com 75mm de espessura, conclui-se que 10% de aberturas numa parede resulta na perda de cerca de 50% da sua capacidade resistente.

Em termos de fissuração, esta surge a partir de g=2% na parede W, 3% na parede S, e 5% na parede Este, para módulos de elasticidades (E) 103,183 e 217 respectivamente.

Na parede W, com 105mm de espessura, não se verificou fissuração em todo o ensaio. Facto justificável pela ausência de aberturas nessa zona e pela esbelteza $\lambda < 20$. O colapso da estrutura surge para $g=14\%$ ao nível do frontão da parede S, único elemento em consola.

Importa salientar que para uma situação real, ou seja de uma casa à escala, os deslocamentos e forças aplicadas devem ser multiplicadas por 4. Importa realçar o BTC_O_type1 produzido apresenta resistências características à compressão (f_k), segundo CRAterre, de 0,6 MPa e 1,13Mpa consoante estes são aparelhados “à meia vez” ou “ao cutelo”, respectivamente.

12.2 Possíveis linhas de desenvolvimento futuro

Na sequência deste trabalho, podem ainda ser desenvolvidos outros estudos, destacando-se aqui os de maior interesse.

- A construção de uma parede à escala real igual a parede realizada na dissertação de “Caracterização do comportamento estrutural de construções em adobe” da Universidade de Aveiro por CLEMENTE PEREIRA, H. (2008) mas usando o BTC. Comparar os seus resultados e avaliar o seu comportamento com recurso à ensaios cíclicos.
- Aprofundar o método experimental de determinação de frequência por excitação por impulso. Elaborar o respectivo programa para aproximar o gráfico da regressão ao gráfico do movimento oscilatório obtido num ensaio, de uma forma mais expedita.
- Desenvolvimento do modelo numérico da casa reproduzida para verificar a segurança e/ou dimensionar o seu reforço.
- O desenvolvimento de mais campanhas de ensaios experimentais, tanto em laboratório como em construções reais em BTC, aplicando as normas em vigor e manuais da CRAterre.

ANEXOS

Concepção do modelo.....	89
Caracterização do solo.....	93
Caracterização do BTC.....	97
Mapa de danos.....	98
Análise da Fachada W.....	109
Análise da Fachada E.....	111
Análise da Fachada N.....	113
Análise da Fachada S.....	115
Propriedades físicas e geométricas da casa	121

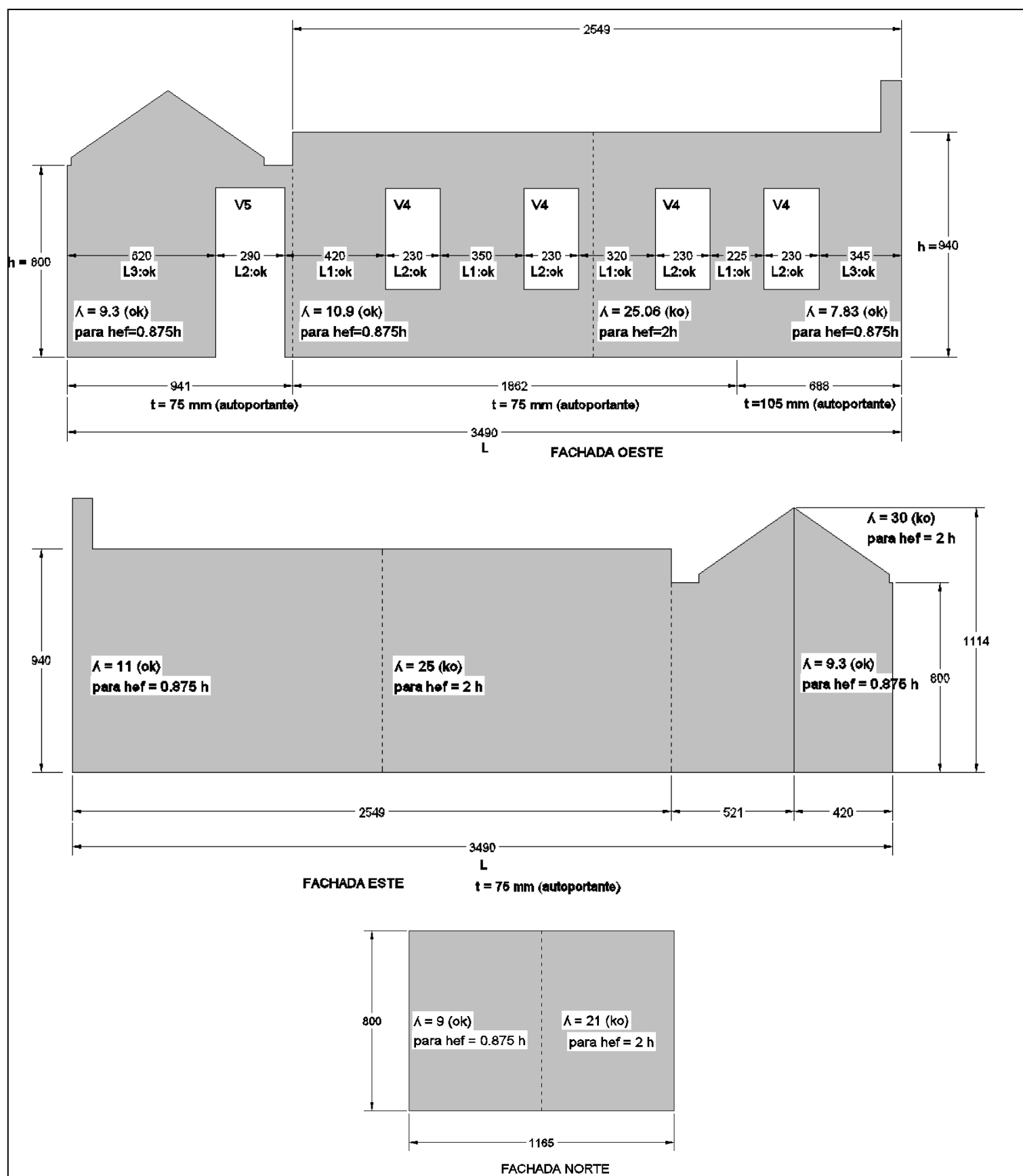


Figura 81. Alçados W, E e N do modelo experimental e verificação das dimensões segundo CRAterre

Parede	t = tef (mm)	h (mm)	hef	λ = hef/tef	Facteur de correction	fk (MPa) ver 7.5	Facteur de sécurité	Ω	σ adm (MPa)
W	75	940	2h	25	-	-	-	-	-
		940	0,875h	11	0,8	1,13	10	1	0,09
E	75	940	2h	25	-	-	-	-	-
		940	0,875h	11	0,8	1,13	10	1	0,09
S	91*	1760	2h	39	-	-	-	-	-
	105	940	0,875h	8	0,92	0,6	10	1	0,06
N	75	800	2h	21	-	-	-	-	-
		800	0,875h	9	0,88	1,13	10	1	0,10
empena	75	1670	2h	45	-	-	-	-	-
		940	0,875h	11	0,8	1,13	10	1	0,09

Quadro A.1. Tensão admissível segundo CRAterre

*media ponderada

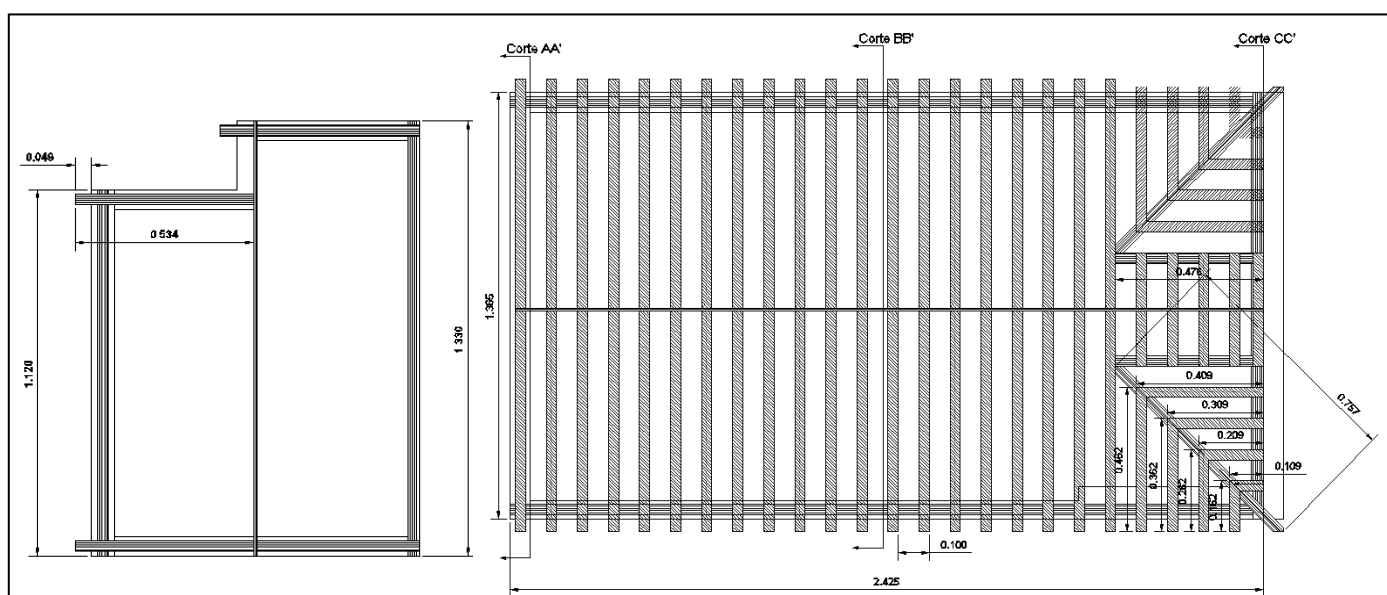


Figura 83. Planta de cobertura do corpo e anexo da casa.

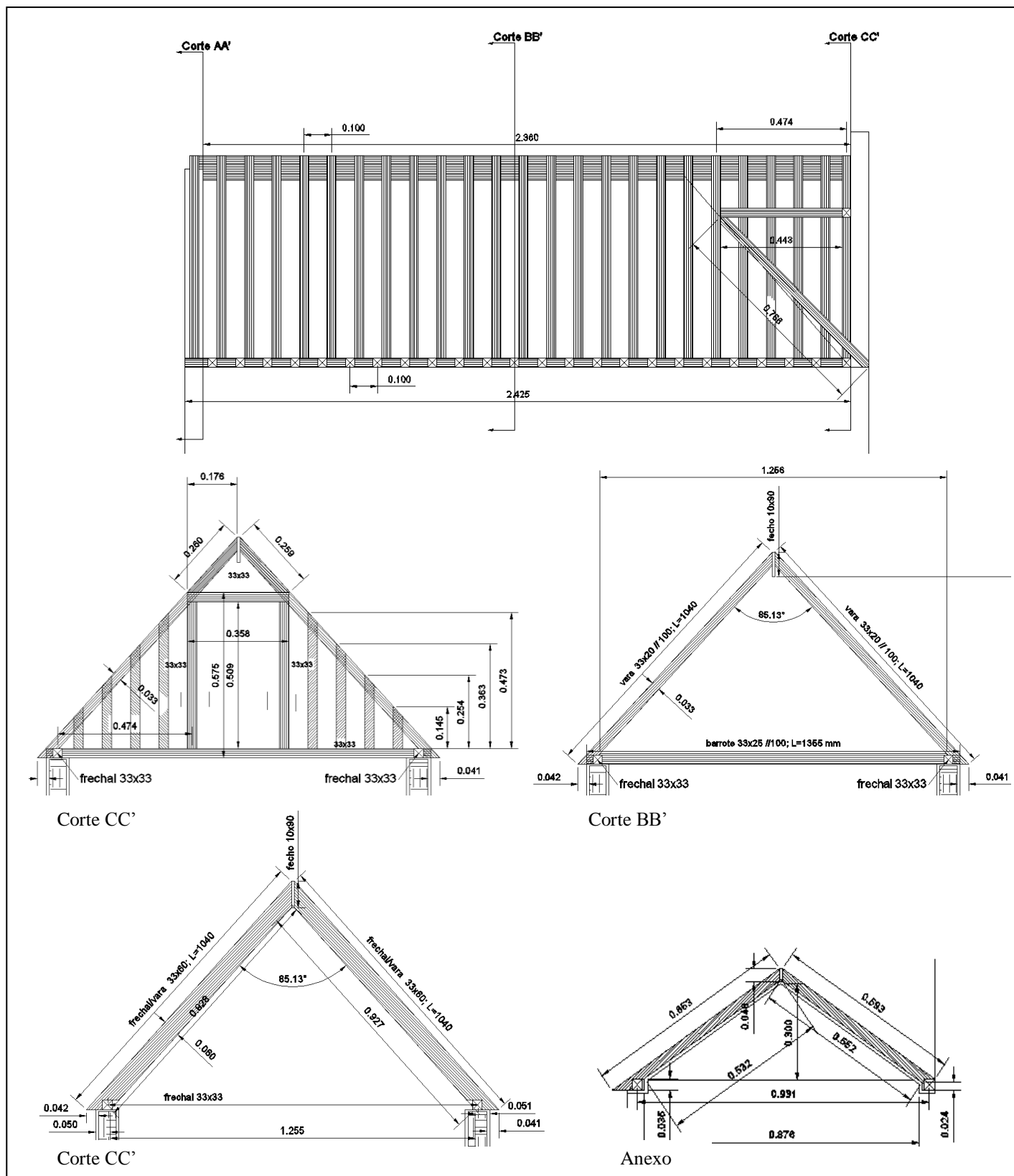


Figura 84. Alçados das asnas da cobertura

Abertura do peneiro mm		Massa retida gr	% Retida	Retido acumulado %	Passado acumulado %
R1	63				100,0
R2	31,5				100,0
R3	16				100,0
R4	8	20	2,9	2,9	97,1
R5	4	40,95	5,9	8,7	91,3
R6	2	121,44	17,4	26,2	73,8
R7	1	306,4	44,0	70,2	29,8
R8	0,5	161,6	23,2	93,4	6,6
R9	0,25	22,79	3,3	96,6	3,4
R10	0,125	9,72	1,4	98,0	2,0
R11	0,063	10,88	1,6	99,6	0,4
P		2,82	0,4	100,0	
total: 696,60 gr M1: 697,99 gr (Massa do provete) M2: 695,90 gr (Massa retida no peneiro 0,063) f=M1-M2+P: 4,91 gr (Massa de finos que passa o peneiro 0,063) Verificação: 0,20% ok se $M1 - \sum R_i - P / M2 < 1\%$					

Quadro A.2. Análise granulométrica da amostra 1: Seleção A

Abertura do peneiro mm		Massa retida gr	% Retida	Retido acumulado %	Passado acumulado %
R1	63				100
R2	31,5				100
R3	16				100
R4	8	23,98	3,4	3,4	97
R5	4	33,1	4,8	8,2	92
R6	2	121,65	17,5	25,7	74
R7	1	269,43	38,7	64,3	36
R8	0,5	158,5	22,8	87,1	13
R9	0,25	53,42	7,7	94,8	5
R10	0,125	20	2,9	97,6	2
R11	0,063	7,52	1,1	98,7	1
P		0,29	0,0	98,7	1
total: 687,89 gr M1: 689,27 gr (Massa do provete) M2: 687,20 gr (Massa retida no peneiro 0,063) f=M1-M2+P: 2,36 gr (Massa de finos que passa o peneiro 0,063) verificação: 0,20% ok se $M1 - \sum R_i - P / M2 < 1\%$					

Quadro A.3. Análise granulométrica da amostra 2: Mistura de seleção A e areia (1:2)

Abertura do peneiro mm	Massa retida gr	% Retida	Retido acumulado %	Passado acumulado %
R1	63			100
R2	31,5			100
R3	16			100
R4	8	8,39	1,2	99
R5	4	22,64	3,3	96
R6	2	109,62	15,7	80
R7	1	301,84	43,3	36
R8	0,5	196,48	28,2	8
R9	0,25	39,29	5,6	3
R10	0,125	12,73	1,8	1
R11	0,063	7	1,0	0
P		1,75	0,3	0
total: 699,74 gr M1: 701,14 gr (Massa do provete) M2: 699,04 gr (Massa retida no peneiro 0,063) f=M1-M2+P: 3,85 gr (Massa de finos que passa o peneiro 0,063) Verificação: 0,20% ok se $M1 - \sum R_i - P / M2 < 1\%$				

Quadro A.4. Análise granulométrica da amostra 3: Mistura de selecção B e areia (2:1)

composição	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
argila+silte	1%	0,3%	1%
areia fina	2%	1,1%	1,0%
areia média	5%	10,7%	7,4%
areia grossa	67%	62,1%	71,1%
Areia (total)	73%	74%	79%
cascalho	26%	26%	20%

Quadro A.5. Composição granulométrica das amostras

	Peso P (gr)	Volume V (cm ³)	Massa volúmica seca $\gamma_d = P/V$ (g/cm ³)
Amostra 1	691,84	500	1,380
Amostra 2	686,66	500	1,373
Amostra 3	697,36	500	1,395


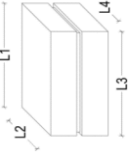
Quadro A.6. Massa volúmica seca das amostras “in situ”

	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3
D10	0,60	0,40	0,55
D30	1,00	0,90	0,90
D60	1,65	1,60	1,50
$C_u = D60/D10$	3	4	3
	$C_u < 4$: Solos uniformes		
$C_z = D30^2 / D60.D10$	1,0	1,3	1,0
	$1 < C_z < 3$: solo bem graduado por curvatura		

Quadro A.7. Uniformidade e curvatura das curvas granulométricas.

		UN	Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4	Teste 5
Peso húmido do bloco	Ph	gr	3520	3620	3560	3820	3920
Volume do bloco	V	cm ³	1729	1721	1646	1732	1752
Teor em água	$w = P_w / P_s$	%	4,0%	6,0%	8,0%	10,0%	12,0%
Baridade húmida	$\gamma_h = Ph / V$	g/cm ³	2,04	2,10	2,16	2,21	2,24
Baridade seca	$\gamma_d = \gamma_h / (1 + w)$	g/cm ³	1,96	1,98	2,00	2,01	2,00

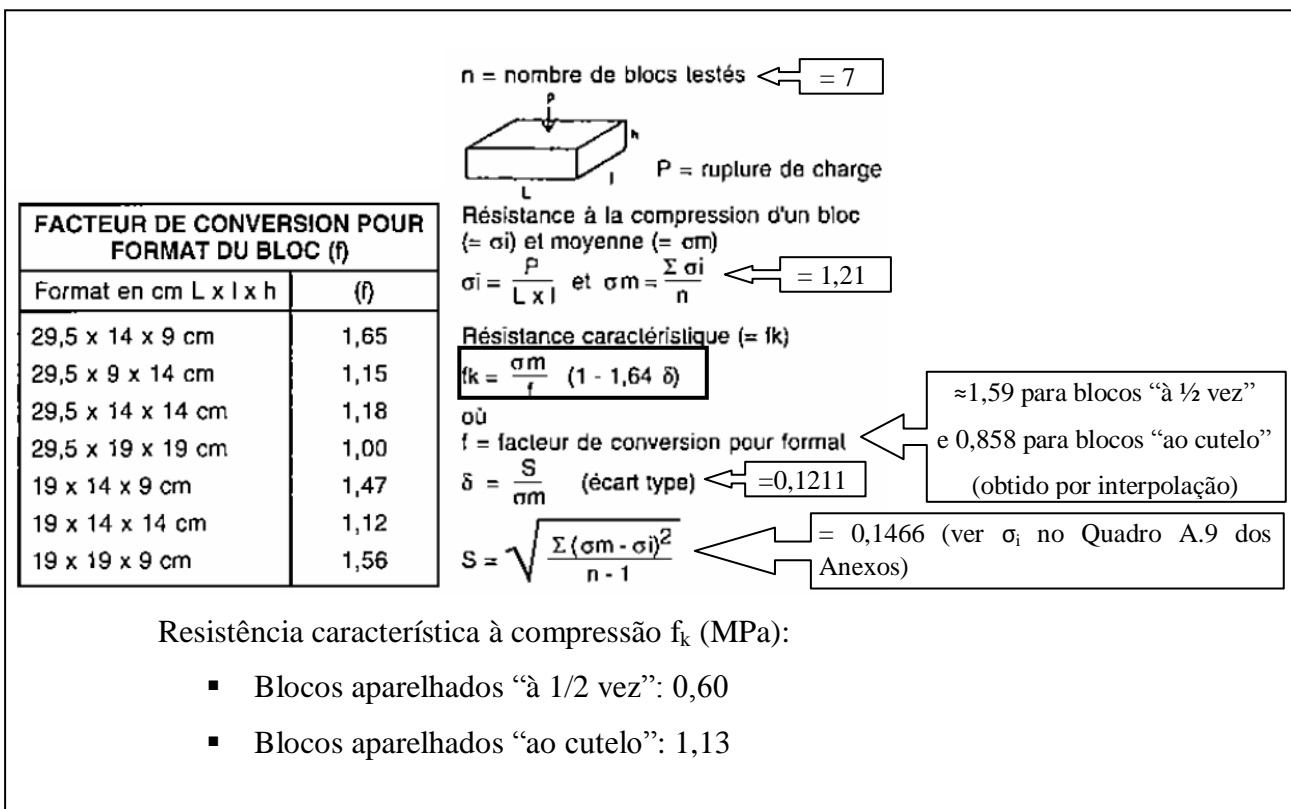
Quadro A.8. Teor em água óptimo da amostra 3 por compactação estática

Ensaio de compressão																						
B T C							Pesagem BTC's (kg)											Deslocamento (mm)	F _{rup} ¹ (kN)	σ _{rup} ² (MPa)		
	C (cm)	C _{med} (cm)	L (cm)	L _{med} (cm)	H (cm)	H _{med} (cm)		L ₁ (cm)	L _{1med} (cm)	L ₂ (cm)	L _{2med} (cm)	L ₃ (cm)	L _{3med} (cm)	L ₄ (cm)	L _{4med} (cm)	Área CP's (mm ²)						
1	22,00	22,00	10,40	10,40	6,10	6,10	10,80	10,73	10,50	10,47	10,70	10,70	10,40	10,40	11181,11	2,65	0,47	11,09	0,99			
	22,00		10,40		6,10		10,80		10,50		10,70		10,40							10,40		
	22,00		10,40		6,10		10,80		10,50		10,70		10,40							10,40		
2	21,80	21,87	10,50	10,50	5,70	5,70	10,50	10,50	10,50	10,50	10,80	10,70	10,50	10,50	11130,00	2,75	0,63	14,79	1,33			
	21,90		10,50		5,70		10,50		10,80		10,70		10,50							10,50		
	21,90		10,50		5,70		10,50		10,80		10,70		10,50							10,50		
3	21,90	21,90	10,50	10,50	6,10	6,10	10,60	10,70	10,60	10,60	10,80	10,77	10,50	10,60	11359,39	2,79	0,63	14,72	1,30			
	21,90		10,50		6,10		10,60		10,80		10,70		10,50							10,60		
	21,90		10,50		6,10		10,60		10,80		10,70		10,50							10,60		
4	22,00	22,03	10,50	10,50	6,20	6,20	10,80	10,83	10,40	10,40	10,70	10,73	10,50	10,50	11250,44	2,75	0,51	12,09	1,07			
	22,00		10,50		6,20		10,90		10,40		10,80		10,70							10,50	10,40	
	22,10		10,50		6,20		10,80		10,40		10,70		10,50							10,50		
5	21,90	21,83	10,50	10,50	6,50	6,50	10,90	10,83	10,50	10,50	10,60	10,60	10,60	10,60	11287,83	2,95	0,54	12,78	1,13			
	21,80		10,50		6,50		10,80		10,50		10,60		10,50							10,60		
	21,80		10,50		6,50		10,80		10,50		10,60		10,50							10,60		
6	21,90	21,90	10,40	10,43	5,80	5,80	10,80	10,77	10,50	10,50	10,70	10,67	10,40	10,50	11252,50	3,09	0,62	14,49	1,29			
	21,90		10,40		5,80		10,70		10,50		10,60		10,50							10,60		
	21,90		10,40		5,80		10,70		10,50		10,60		10,50							10,60		
7	21,80	21,80	10,50	10,50	6,10	6,13	10,70	10,70	10,50	10,53	10,60	10,70	10,40	10,43	11217,17	2,68	0,66	15,41	1,37			
	21,80		10,50		6,10		10,70		10,50		10,60		10,50							10,40		
	21,80		10,50		6,10		10,70		10,50		10,60		10,50							10,40		
Valores Médios															0,58	13,62	1,21					
1 – F _{rup} – Força de rotura 2 – σ _{rup} – Tensão de rotura																						

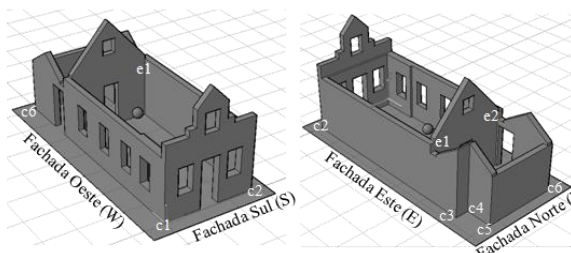
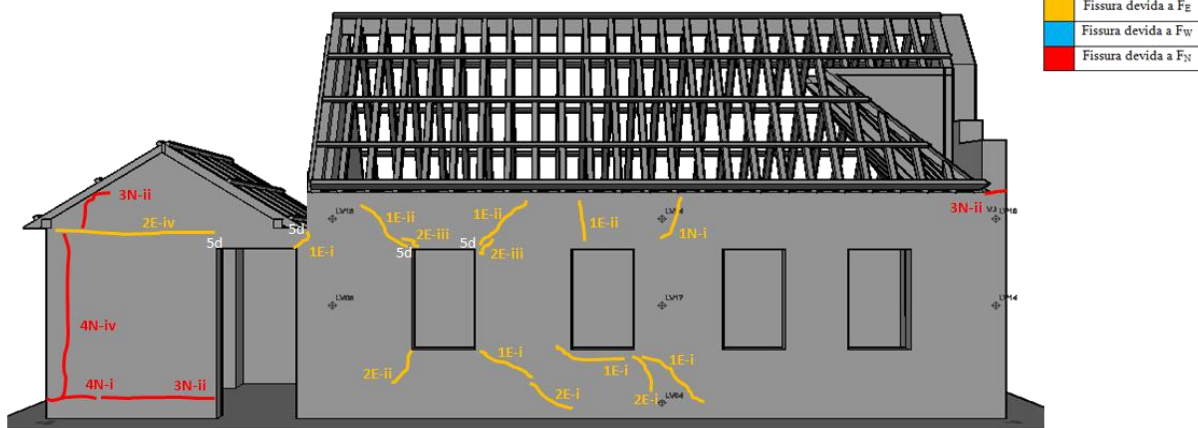
¹ - F_{rup} - Força de ruptura

² - σ_{rup} - Tensão de ruptura

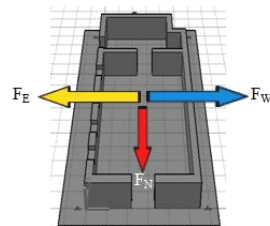
Quadro A.9. Ensaio de compressão do BTC pela NBR8492 [4]



Quadro A.10. Determinação da resistência característica do BTC produzido.



Orientação das fachadas e localização dos cunhais

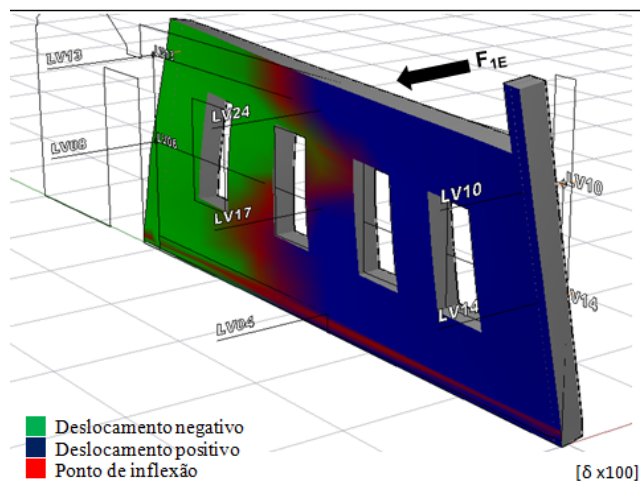


Direção das forças aplicadas

Nomenclatura de registo de danos	
3: 3º ciclo de carga	
3N-ii	N: Força aplicada F_N
	ii: tipo de fissura
Classificação do tipo de fissuras	
Tipo	Amplitude
i	$0,1 \text{ mm} \leq A < 0,7 \text{ mm}$
ii	$0,7 \text{ mm} \leq A < 1,0 \text{ mm}$
iii	$1,0 \text{ mm} \leq A < 1,5 \text{ mm}$
iv	$1,5 \text{ mm} \leq A < 2,0 \text{ mm}$
v	$A \geq 2,0 \text{ mm}$
d	Desligamentos

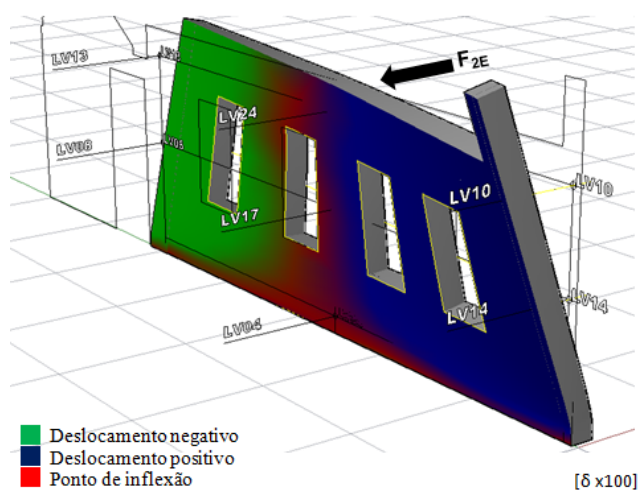
Dados de ensaio		Levantamento fotografico	Comentarios
Ciclo	1		FOTO 04 e FOTO 05: Fissuração diversa no contorno das aberturas (1E) (1N)
Tempo	00:27:09		
Duração	27 min		
F_E	2,042 kN		
F_W	-0,370 kN		
F_N	0,311 kN		
Ciclo	2		FOTO 12: Fissura longitudinal ao nível da empena do anexo. (2E)
Tempo	00:43:40		FOTO 13: Prolongamento da fissuração obliqua 1E no contorno das aberturas. (2E)
Duração	16 min		- Desligamento nas ligações com aberturas no interior e exterior - Aparecimento de fissuração ligeira obliqua em redor das aberturas no interior.
F_E	1,033 kN		
F_W	-0,782 kN		
F_N	0,740 kN		
Ciclo	3		FOTO 18: - Fissuração longitudinal ao nível da base do anexo. (3N) - Fissuração vertical ao nível da empena do anexo. (3N)
Tempo	00:58:30		FOTO 20: - Fissuração transversal da platibanda. (3N)
Duração	14 min		
F_E	1,091 kN		
F_W	-1,292 kN		
F_N	1,308 kN		
Ciclo	4		FOTO 27: - Fissura vertical ao nível do cunhal c6. (4W e 4N) - Prolongamento da fissura longitudinal 3N ao nível da base do anexo. (4N)
Tempo	01:10:40		
Duração	12 min		
F_E	2,064 kN		
F_W	-1,749 kN		
F_N	1,636 kN		
Ciclo	5		FOTO 33 e FOTO 34: Desligamento e queda de material ao nível das ligações de aberturas e ao nível do encontro e2
Tempo	01:25:52		
Duração	15 min		
F_E	2,384 kN		
98	-2,120 kN		
F_N	1,971 kN		

DEFORMADA DA FACHADA W

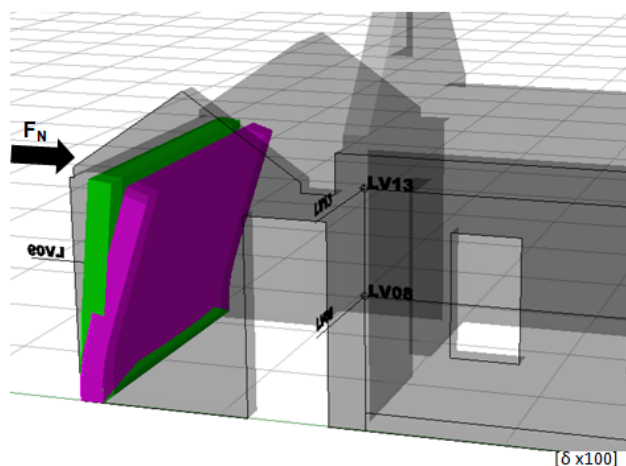


DADOS

Ciclo	1
Direcção	E
F_{1E}	1,977 kN
Tempo	00:13:15
δ LV10	1,5 mm
δ LV24	0,5 mm
δ LV13	-1,3 mm
δ LV14	0,8 mm
δ LV17	0,2 mm
δ LV08	-0,7 mm
δ LV04	0 mm



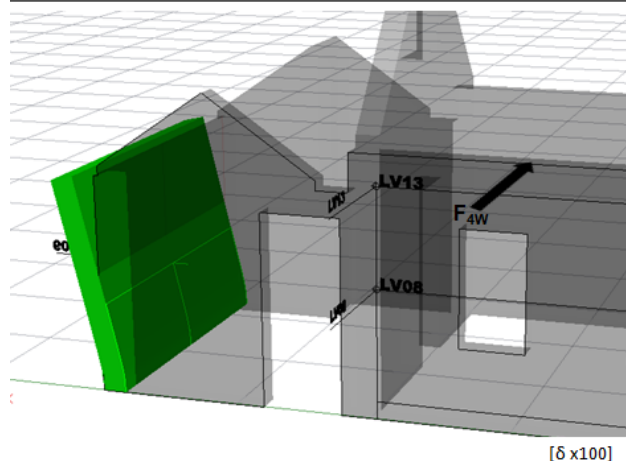
Ciclo	2
Direcção	E
F_{2E}	1,000 kN
Tempo	00:28:53
δ LV10	2,8 mm
δ LV24	0,3 mm
δ LV13	-1,5 mm
δ LV14	1,5 mm
δ LV17	0,1 mm
δ LV08	-0,8 mm
δ LV04	0 mm



Ciclo	3
Direcção	N
F_{3N}	1,266 kN
Tempo	00:56:06
δ LV09	-0,6 mm

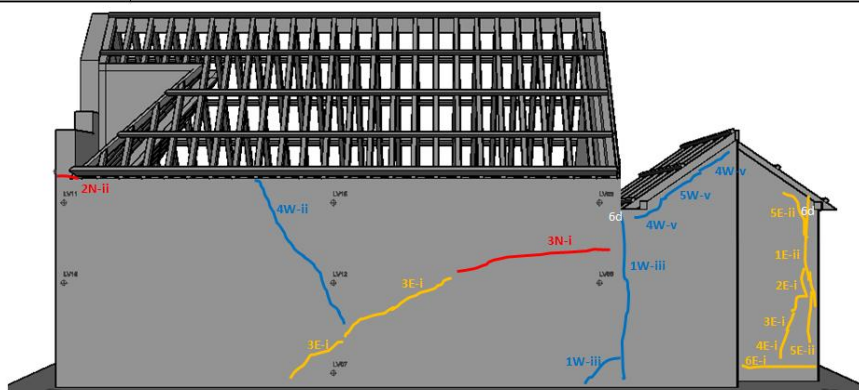
Ciclo	4
Direcção	N
F_{4N}	1,584 kN
Tempo	01:07:59
δ LV09	-0,2 mm

Nota: As fissuras 3N e 4N da fachada W resultam do deslocamento da parede N

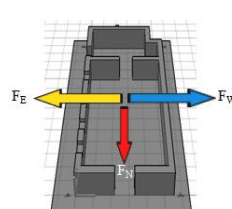
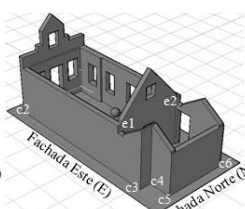
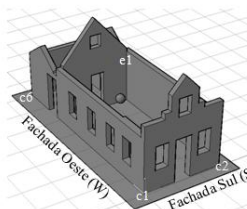


Ciclo	4
Direcção	W
F_{4W}	-1,693 kN
Tempo	01:03:52
δ LV09	0,6 mm

Nota: As fissuras 4W da fachada W resultam do deslocamento da parede N



	Fissura devida a F_E
	Fissura devida a F_W
	Fissura devida a F_N



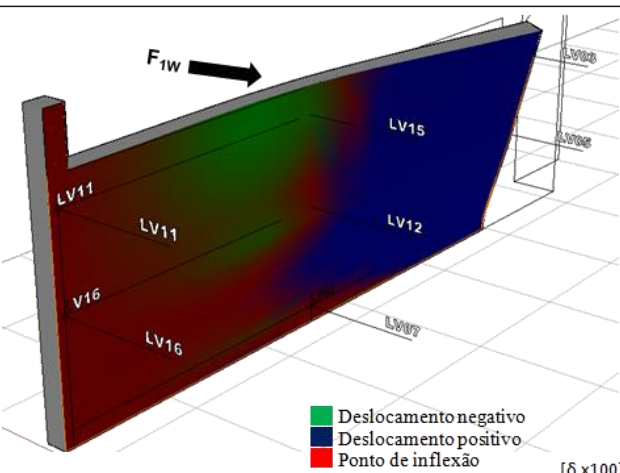
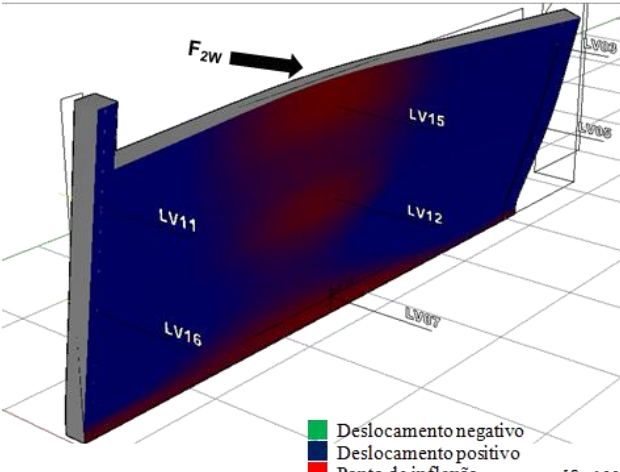
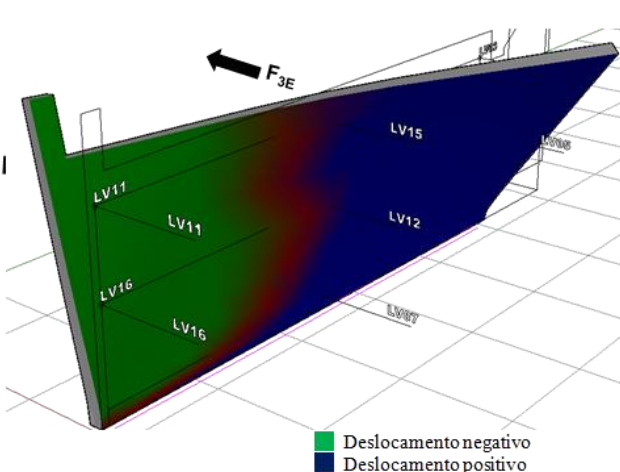
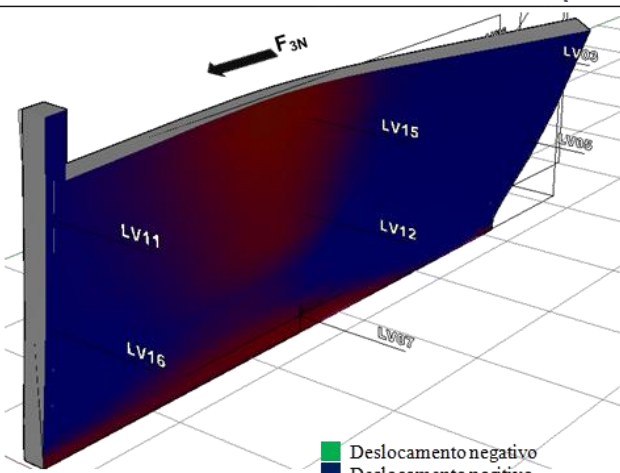
Orientação das fachadas e localização dos cunhais

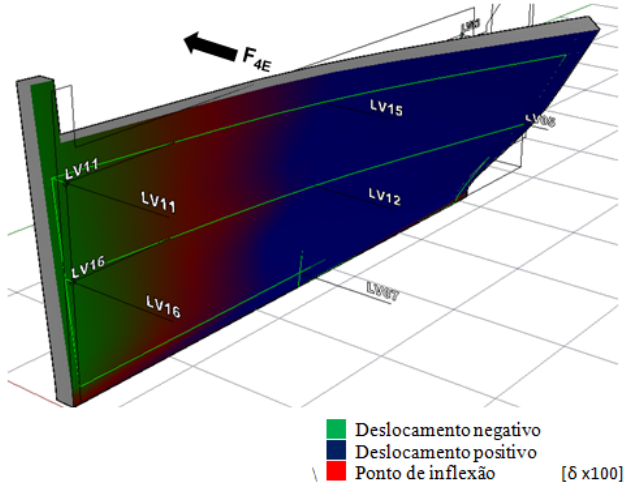
Direção das forças aplicadas

Nomenclatura de registo de danos	
3N-II	3: 3º ciclo de carga N: Força aplicada F_N ii: tipo de fissura

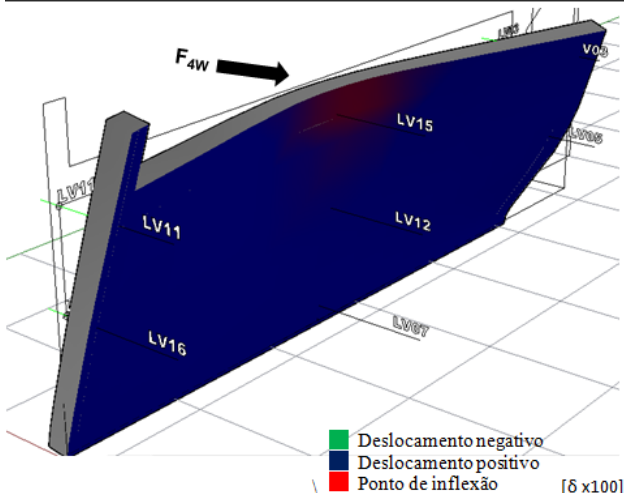
Classificação do tipo de fissuras	
Tipo	Amplitude
i	$0,1 \text{ mm} \leq A < 0,7 \text{ mm}$
ii	$0,7 \text{ mm} \leq A < 1,0 \text{ mm}$
iii	$1,0 \text{ mm} \leq A < 1,5 \text{ mm}$
iv	$1,5 \text{ mm} \leq A < 2,0 \text{ mm}$
v	$A \geq 2,0 \text{ mm}$
d	Desligamentos

Dados de ensaio		Levantamento fotografico			Comentarios
Ciclo	1				
Tempo	00:27:09				FOTO 02: Fissura oblíqua ao nível da base do encontro e1. (1W)
Duração	27 min				FOTO 03: Fissura vertical no encontro e1. (1W)
F_E	2,042 kN				FOTO 08: Fissura vertical resultante do desligamento na ligação da parede N com parede W do anexo. (1E)
F_W	-0,370 kN				
F_N	0,311 kN				
Ciclo	2				FOTO 09: Prolongamento da fissura vertical 1W no encontro e1, até a base. (2W)
Tempo	00:43:40				FOTO 11: Fisuração transversal da platibanda da fachada sul. (2N)
Duração	16 min				FOTO 14: Prolongamento da fissura 1E. (2E)
F_E	1,033 kN				
F_W	-0,782 kN				
F_N	0,740 kN				
Ciclo	3				FOTO 17: Fissura oblíqua extensa. (3E e 3N)
Tempo	00:58:30				FOTO 21: prolongamento das fissuras verticais 2E. (3E)
Duração	14 min				
F_E	1,091 kN				
F_W	-1,292 kN				
F_N	1,308 kN				
Ciclo	4				FOTO 24: Fisuração ao nível da ligação da cobertura do anexo. (4W)
Tempo	01:10:40				FOTO 25: Fissura oblíqua extensa. (4W)
Duração	12 min				FOTO 26: Prolongamento da fissura oblíqua 3E. (4E)
F_E	2,064 kN				FOTO 28: Prolongamento da fissura vertical 3E. (4E)
F_W	-1,749 kN				
F_N	1,636 kN				
Ciclo	5				FOTO 31: Desligamento e queda de material. (5d)
Tempo	01:25:52				FOTO 32: Prolongamento da fissura 4W ao nível da ligação da cobertura do anexo. (5W)
Duração	15 min				FOTO 36: - Prolongamento da fissuração 2E. (5E) - Desligamento ao nível do cunhal c5. (5d)
F_E	2,384 kN				
F_W	-2,120 kN				
F_N	1,971 kN				
Ciclo	6				FOTO 39: - Fissura longitudinal ao nível da base do anexo. (6E) - prolongamento da fissura vertical 5E. (6N) - Desligamento e queda de material. (6d)
Tempo	01:41:27				FOTO 40: Desligamento e queda de material. (6d)
Duração	15 min				
F_E	2,582 kN				
F_W	-2,609 kN				
F_N	2,956 kN				

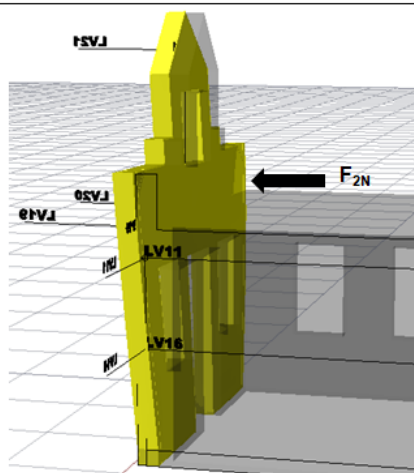
DEFORMADA DA FACHADA E	DADOS																						
 <p>[δ x100]</p>	<table> <tr><td>Ciclo</td><td>1</td></tr> <tr><td>Direcção</td><td>W</td></tr> <tr><td>F_{1W}</td><td>-0,370 kN</td></tr> <tr><td>Tempo</td><td>00:19:55</td></tr> <tr><td>δ LV11</td><td>0 mm</td></tr> <tr><td>δ LV15</td><td>-0,1 mm</td></tr> <tr><td>δ LV03</td><td>2,2 mm</td></tr> <tr><td>δ LV16</td><td>0 mm</td></tr> <tr><td>δ LV12</td><td>0 mm</td></tr> <tr><td>δ LV05</td><td>1,3 mm</td></tr> <tr><td>δ LV07</td><td>0 mm</td></tr> </table>	Ciclo	1	Direcção	W	F_{1W}	-0,370 kN	Tempo	00:19:55	δ LV11	0 mm	δ LV15	-0,1 mm	δ LV03	2,2 mm	δ LV16	0 mm	δ LV12	0 mm	δ LV05	1,3 mm	δ LV07	0 mm
Ciclo	1																						
Direcção	W																						
F_{1W}	-0,370 kN																						
Tempo	00:19:55																						
δ LV11	0 mm																						
δ LV15	-0,1 mm																						
δ LV03	2,2 mm																						
δ LV16	0 mm																						
δ LV12	0 mm																						
δ LV05	1,3 mm																						
δ LV07	0 mm																						
 <p>[δ x100]</p>	<table> <tr><td>Ciclo</td><td>2</td></tr> <tr><td>Direcção</td><td>W</td></tr> <tr><td>F_{2W}</td><td>-0,782 kN</td></tr> <tr><td>Tempo</td><td>00:33:07</td></tr> <tr><td>δ LV11</td><td>1,1 mm</td></tr> <tr><td>δ LV15</td><td>0,1 mm</td></tr> <tr><td>δ LV03</td><td>2,3 mm</td></tr> <tr><td>δ LV16</td><td>0,6 mm</td></tr> <tr><td>δ LV12</td><td>0,1 mm</td></tr> <tr><td>δ LV05</td><td>1,5 mm</td></tr> <tr><td>δ LV07</td><td>0 mm</td></tr> </table>	Ciclo	2	Direcção	W	F_{2W}	-0,782 kN	Tempo	00:33:07	δ LV11	1,1 mm	δ LV15	0,1 mm	δ LV03	2,3 mm	δ LV16	0,6 mm	δ LV12	0,1 mm	δ LV05	1,5 mm	δ LV07	0 mm
Ciclo	2																						
Direcção	W																						
F_{2W}	-0,782 kN																						
Tempo	00:33:07																						
δ LV11	1,1 mm																						
δ LV15	0,1 mm																						
δ LV03	2,3 mm																						
δ LV16	0,6 mm																						
δ LV12	0,1 mm																						
δ LV05	1,5 mm																						
δ LV07	0 mm																						
 <p>[δ x100]</p>	<table> <tr><td>Ciclo</td><td>3</td></tr> <tr><td>Direcção</td><td>E</td></tr> <tr><td>F_{3E}</td><td>1,091 kN</td></tr> <tr><td>Tempo</td><td>00:46:23</td></tr> <tr><td>δ LV11</td><td>-1,8 mm</td></tr> <tr><td>δ LV15</td><td>0,6 mm</td></tr> <tr><td>δ LV03</td><td>5,4 mm</td></tr> <tr><td>δ LV16</td><td>-1 mm</td></tr> <tr><td>δ LV12</td><td>0,4 mm</td></tr> <tr><td>δ LV05</td><td>2,9 mm</td></tr> <tr><td>δ LV07</td><td>0,1 mm</td></tr> </table>	Ciclo	3	Direcção	E	F_{3E}	1,091 kN	Tempo	00:46:23	δ LV11	-1,8 mm	δ LV15	0,6 mm	δ LV03	5,4 mm	δ LV16	-1 mm	δ LV12	0,4 mm	δ LV05	2,9 mm	δ LV07	0,1 mm
Ciclo	3																						
Direcção	E																						
F_{3E}	1,091 kN																						
Tempo	00:46:23																						
δ LV11	-1,8 mm																						
δ LV15	0,6 mm																						
δ LV03	5,4 mm																						
δ LV16	-1 mm																						
δ LV12	0,4 mm																						
δ LV05	2,9 mm																						
δ LV07	0,1 mm																						
 <p>[δ x100]</p>	<table> <tr><td>Ciclo</td><td>3</td></tr> <tr><td>Direcção</td><td>N</td></tr> <tr><td>F_{3N}</td><td>1,308 kN</td></tr> <tr><td>Tempo</td><td>00:56:06</td></tr> <tr><td>δ LV11</td><td>0,8 mm</td></tr> <tr><td>δ LV15</td><td>0,1 mm</td></tr> <tr><td>δ LV03</td><td>3,4 mm</td></tr> <tr><td>δ LV16</td><td>0,5 mm</td></tr> <tr><td>δ LV12</td><td>0,1 mm</td></tr> <tr><td>δ LV05</td><td>2,1 mm</td></tr> <tr><td>δ LV07</td><td>0 mm</td></tr> </table>	Ciclo	3	Direcção	N	F_{3N}	1,308 kN	Tempo	00:56:06	δ LV11	0,8 mm	δ LV15	0,1 mm	δ LV03	3,4 mm	δ LV16	0,5 mm	δ LV12	0,1 mm	δ LV05	2,1 mm	δ LV07	0 mm
Ciclo	3																						
Direcção	N																						
F_{3N}	1,308 kN																						
Tempo	00:56:06																						
δ LV11	0,8 mm																						
δ LV15	0,1 mm																						
δ LV03	3,4 mm																						
δ LV16	0,5 mm																						
δ LV12	0,1 mm																						
δ LV05	2,1 mm																						
δ LV07	0 mm																						



Ciclo	4
Direcção	E
F_{4E}	1,998 kN
Tempo	01:01:07
δ LV11	-0,7 mm
δ LV15	0,9 mm
δ LV03	5,4 mm
δ LV16	-0,4 mm
δ LV12	0,6 mm
δ LV05	3,5 mm
δ LV07	0,1 mm

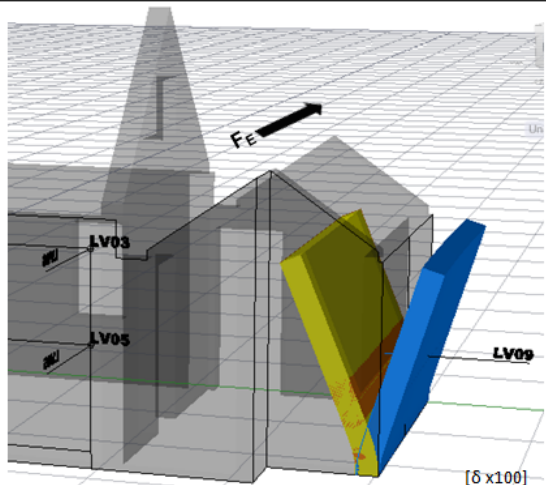


Ciclo	4
Direcção	01:03:52
F_{4W}	-1,693 kN
Tempo	01:10:40
δ LV11	2,5 mm
δ LV15	0,6 mm
δ LV03	3,8 mm
δ LV16	1,3 mm
δ LV12	0,5 mm
δ LV05	2,8 mm
δ LV07	0,1 mm



Ciclo	2
Direcção	N
F_{2N}	0,716 kN
Tempo	00:41:04
δ LV18	-0,2 mm
δ LV20	0,3 mm
δ LV19	0,8 mm
δ LV21	0,7 mm

Nota: As fissuras 2N da fachada E resultam do deslocamento da fachada S. [δ x100]

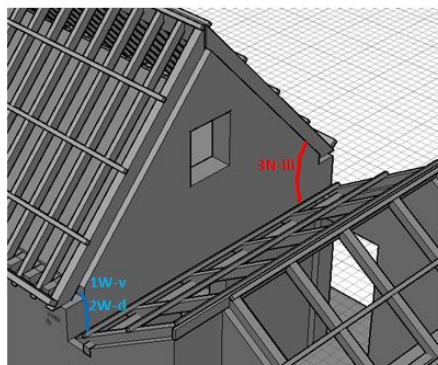


Ciclo	1
Direcção	E
F_{1E}	1,977 kN
Tempo	00:13:15
δ LV09	-1,1 mm

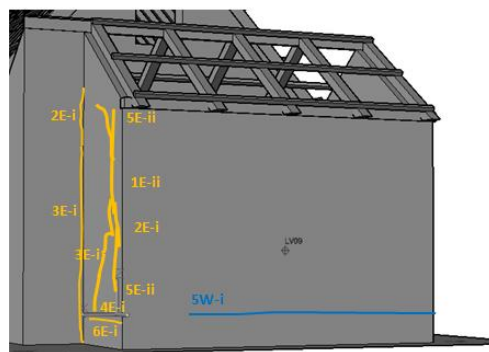
Ciclo	2
Direcção	E
F_{2E}	1,000 kN
Tempo	00:28:53
δ LV09	-1,1 mm

Ciclo	5
Direcção	E
F_{5E}	2,308 kN
Tempo	01:15:29
δ LV09	0,8 mm

102 Nota: As fissuras 1E, 2E e 5E da fachada E resultam do deslocamento da parede N. [δ x100]

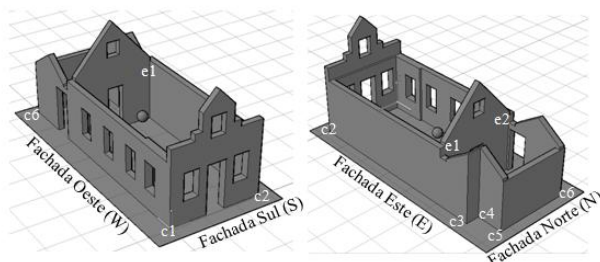


Empena Norte

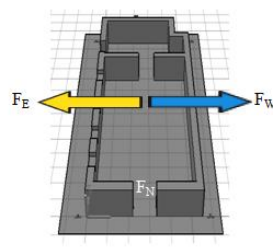


Parede Norte

	Fissura devida a F_E
	Fissura devida a F_W
	Fissura devida a F_N



Orientação das fachadas e localização dos cunhais



Direção das forças aplicadas

Nomenclatura de registo de danos

3: 3º ciclo de carga
N: Força aplicada F_N
ii: tipo de fissura

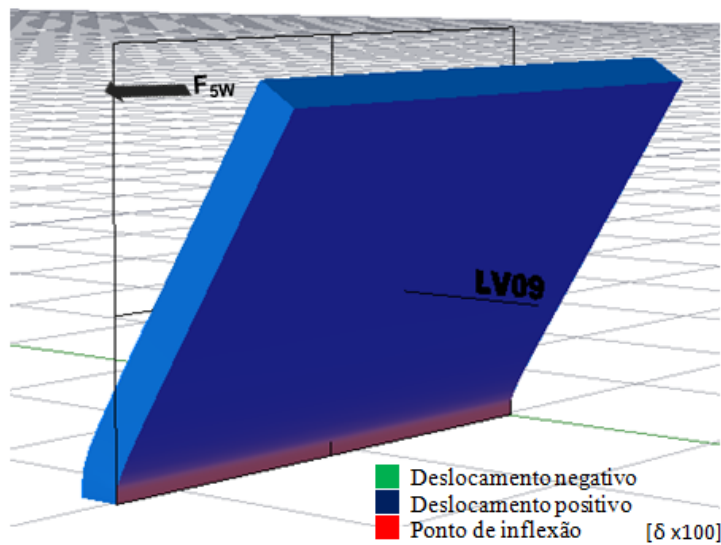
Classificação do tipo de fissuras

Tipo	Amplitude
i	$0,1 \text{ mm} \leq A < 0,7 \text{ mm}$
ii	$0,7 \text{ mm} \leq A < 1,0 \text{ mm}$
iii	$1,0 \text{ mm} \leq A < 1,5 \text{ mm}$
iv	$1,5 \text{ mm} \leq A < 2,0 \text{ mm}$
v	$A \geq 2,0 \text{ mm}$
d	Desligamentos

Dados de ensaio		Levantamento fotografico	Comentarios
Ciclo	1		FOTO 01: Fissura resultante do desligamento na ligação da empena com o topo da parede E. (1E)
Tempo	00:27:09		
Duração	27 min		
F_E	2,109 kN		
F_W	-0,382 kN		
F_N	0,321 kN		
Ciclo	2	 	FOTO 14: Fissura vertical no cunhal c4 ao nível da empena do anexo. (2E) FOTO 02: Desligamento e queda de material no encontro e1. (2W)
Tempo	00:43:40		
Duração	16 min		
F_E	1,067 kN		
F_W	-0,808 kN		
F_N	0,764 kN		
Ciclo	3	 	FOTO 21: Prolongamento da fissura vertical 2E do anexo. (3E) FOTO 22: Fissura oblíqua na empena norte com desligamento e queda de material. (3N)
Tempo	00:58:30		
Duração	14 min		
F_E	1,127 kN		
F_W	-1,334 kN		
F_N	1,351 kN		
Ciclo	5		FOTO 35: Fissura longitudinal ao nível da base do anexo. (5W)
Tempo	01:25:52		
Duração	15 min		
F_E	2,463 kN		
F_W	-2,190 kN		
F_N	2,036 kN		

DEFORMADA DA FACHADA N

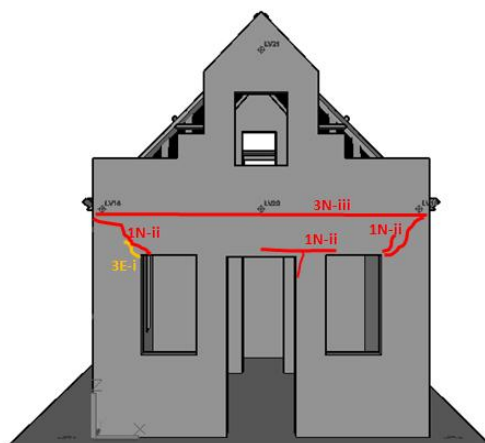
DADOS



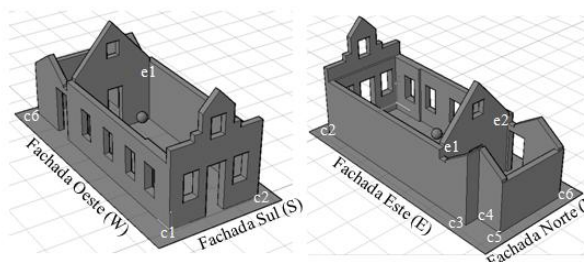
Ciclo	5
Direcção	W
F_{5W}	-2,120 kN
Tempo	01:19:28
δ LV09	1,6 mm

MAPA DE DANOS

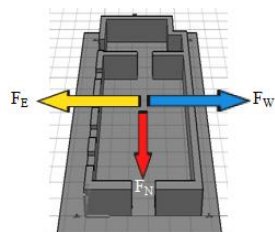
FACHADA SUL (S)



	Fissura devida a F_E
	Fissura devida a F_W
	Fissura devida a F_N



Orientação das fachadas e localização dos cumieiros



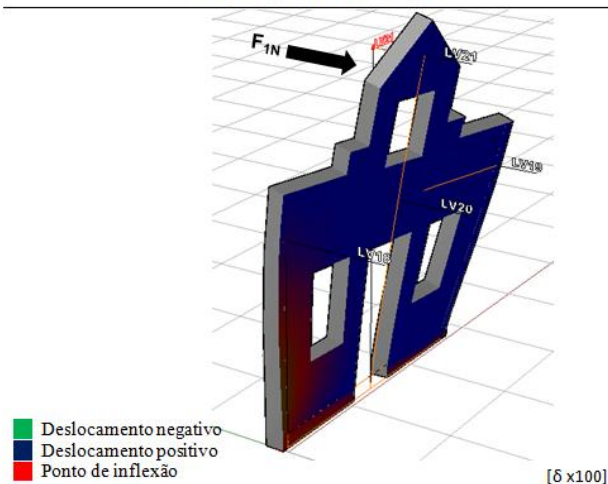
Direcção das forças aplicadas

Nomenclatura de registo de danos	
3N-ii	3: 3º ciclo de carga
	N: Força aplicada F_N
	ii: tipo de fissura
Classificação do tipo de fissuras	
Tipo	Amplitude
i	$0,1 \text{ mm} \leq A < 0,7 \text{ mm}$
ii	$0,7 \text{ mm} \leq A < 1,0 \text{ mm}$
iii	$1,0 \text{ mm} \leq A < 1,5 \text{ mm}$
iv	$1,5 \text{ mm} \leq A < 2,0 \text{ mm}$
v	$A \geq 2,0 \text{ mm}$
d	Desligamentos

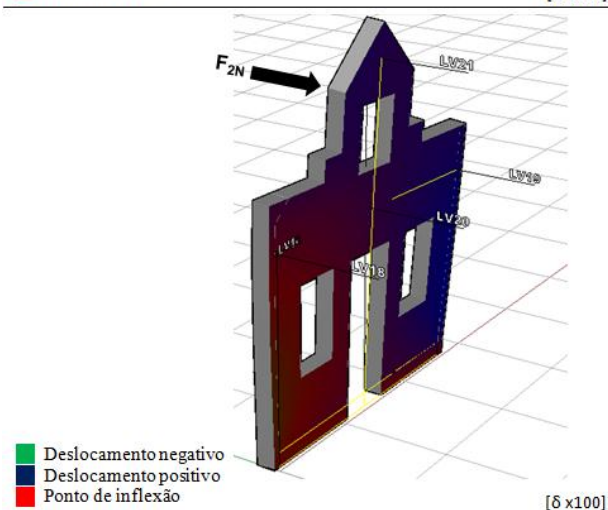
Dados de ensaio		Levantamento fotografico		Comentarios
Ciclo	1			FOTO 06 e 07: fissura oblíqua ao nível dos cantos das aberturas e fissura na ligações. (1N)
Tempo	00:27:09			
Duração	27 min			
F_E	2,042 kN			
F_W	-0,370 kN			
F_N	0,311 kN			
Ciclo	3			FOTO 19: Fissura longitudinal em toda a extensão da platibanda. (3N) FOTO 20: Prolongamento das fissuras oblíquas 1N. (3E)
Tempo	00:58:30			
Duração	14 min			
F_E	1,091 kN			
F_W	-1,292 kN			
F_N	1,308 kN			
Ciclo	9			FOTO 41, 42, 43: ROTURA pela fissura longitudinal 3N.
Tempo	02:23:19			
Duração	14 min			
F_E	3,918 kN			
F_W	-3,620 kN			
F_N	3,519 kN			

DEFORMADA DA FACHADA S

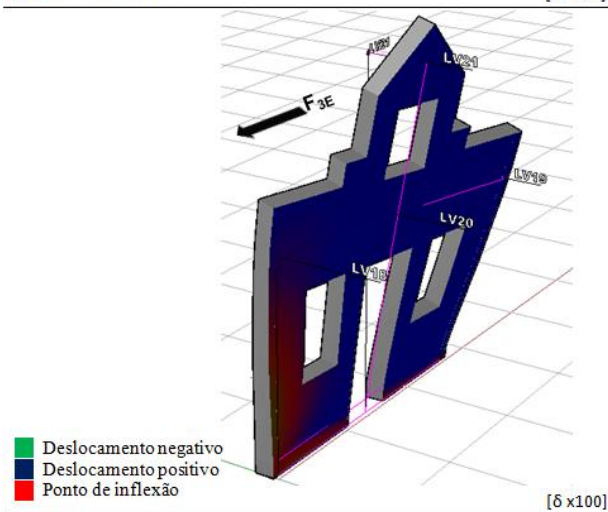
DADOS



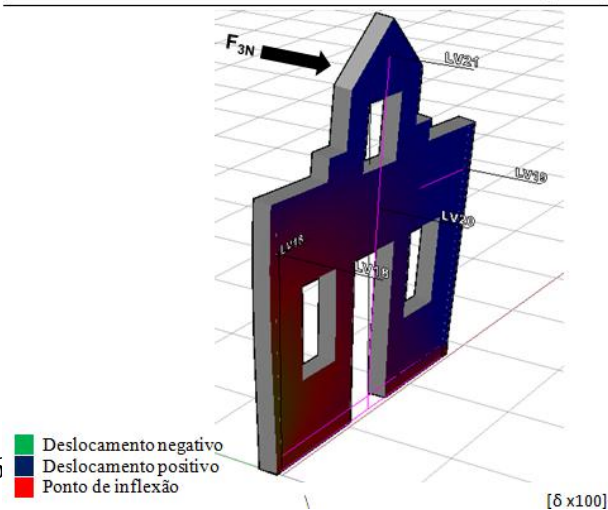
Ciclo	1
Direcção	N
F_{1N}	0,301 kN
Tempo	00:26:02
δ LV18	-0,2 mm
δ LV20	1,2 mm
δ LV19	2,7 mm
δ LV21	2,5 mm



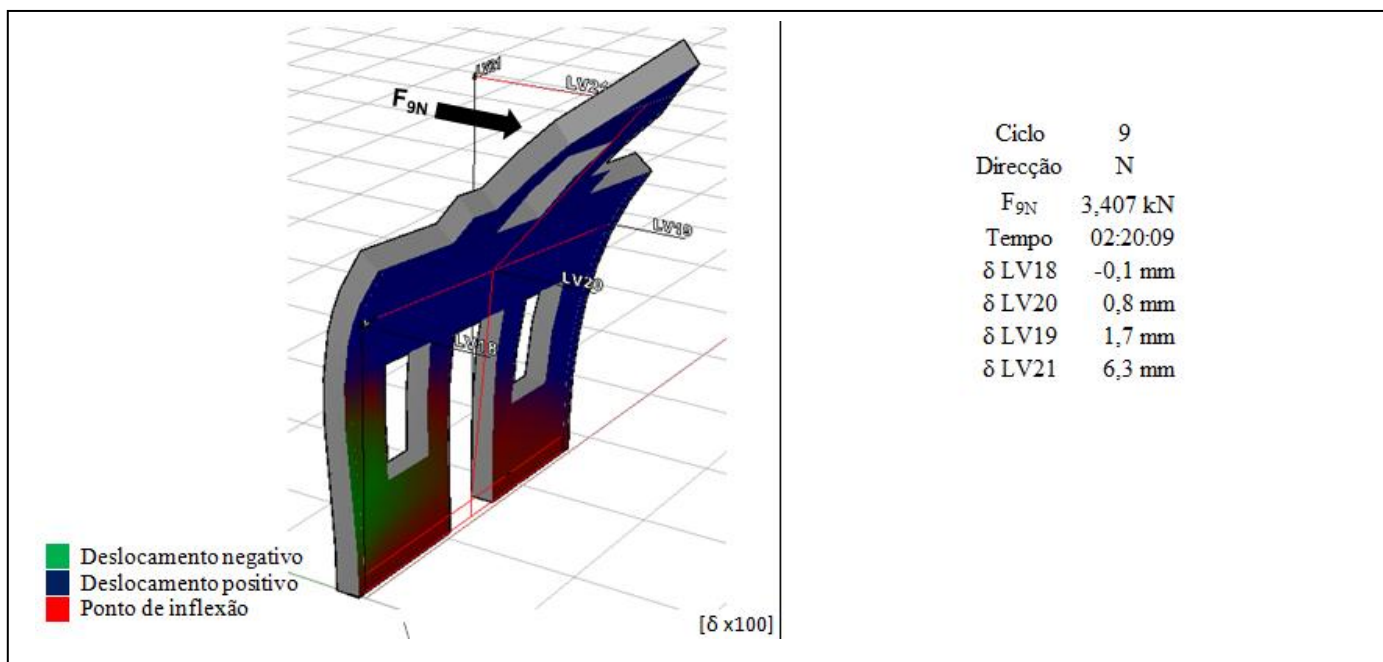
Ciclo	2
Direcção	N
F_{2N}	0,716 kN
Tempo	00:41:04
δ LV18	-0,2 mm
δ LV20	0,3 mm
δ LV19	0,8 mm
δ LV21	0,7 mm



Ciclo	3
Direcção	E
F_{3E}	1,056 kN
Tempo	00:46:23
δ LV18	-0,2 mm
δ LV20	1,4 mm
δ LV19	3 mm
δ LV21	2,7 mm



Ciclo	3
Direcção	N
F_{3N}	1,266 kN
Tempo	00:56:06
δ LV18	-0,3 mm
δ LV20	0,3 mm
δ LV19	0,9 mm
δ LV21	0,9 mm



Análise da fachada oeste (W)

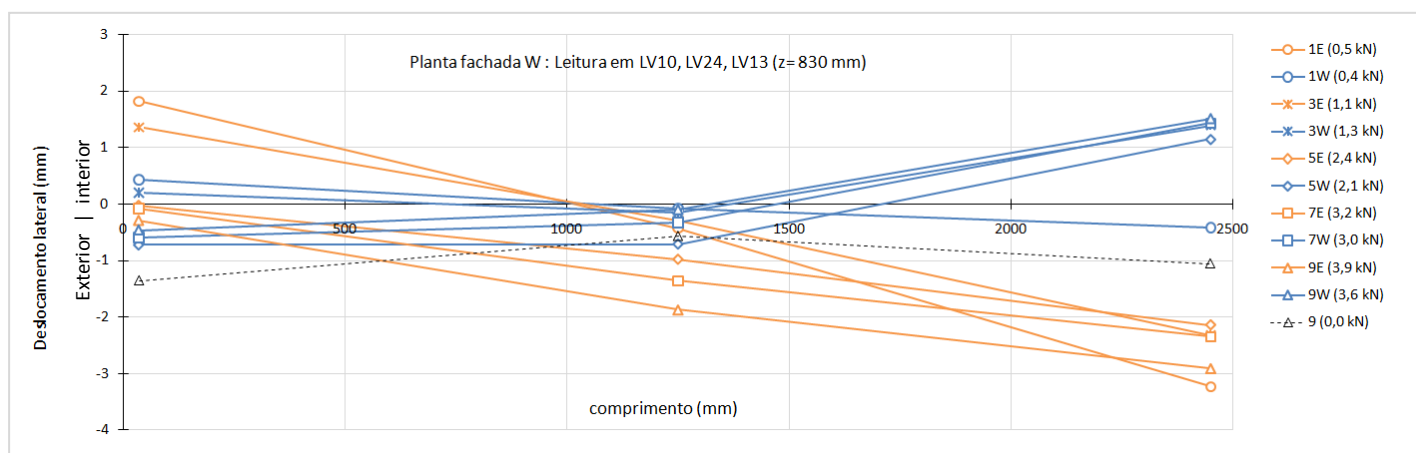
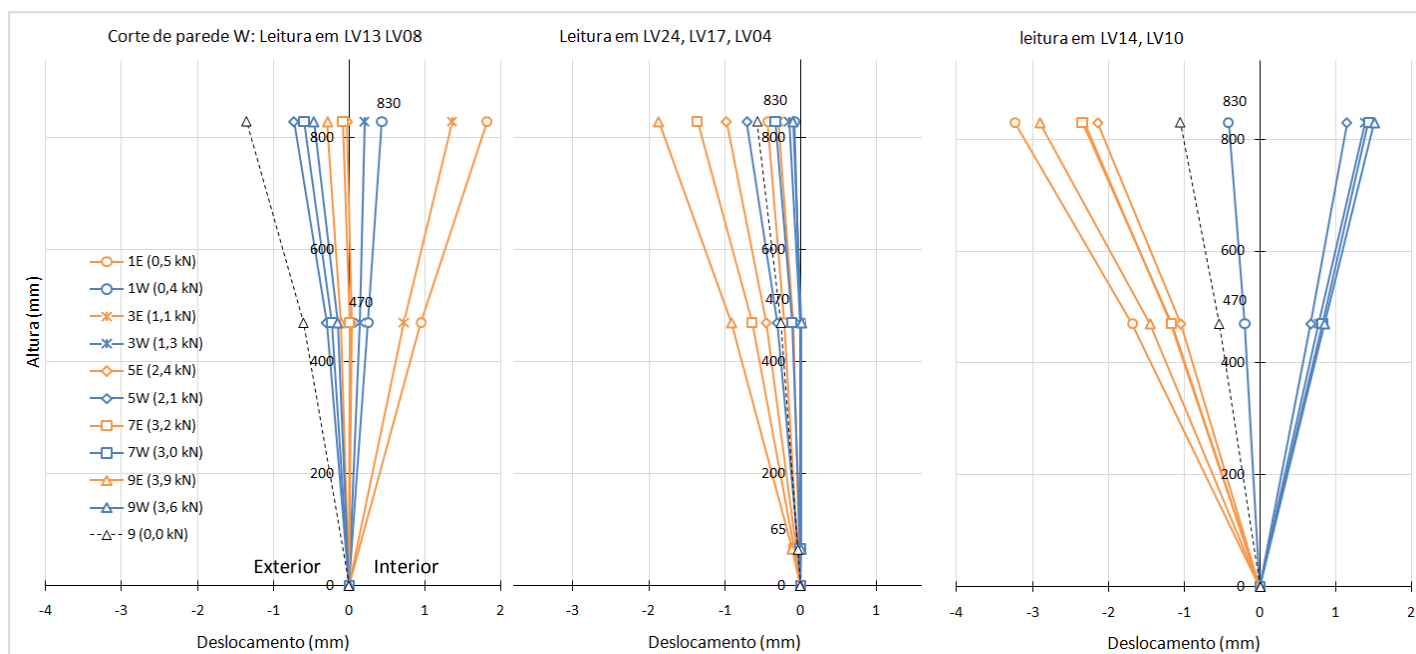
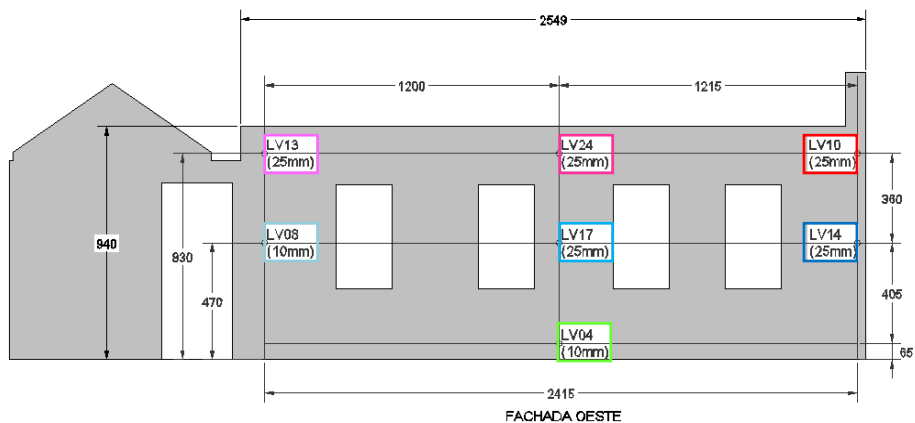
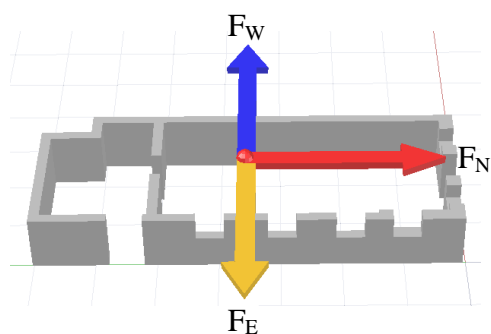


Gráfico A.1. Perfis de corte e planta da deformada da fachada W

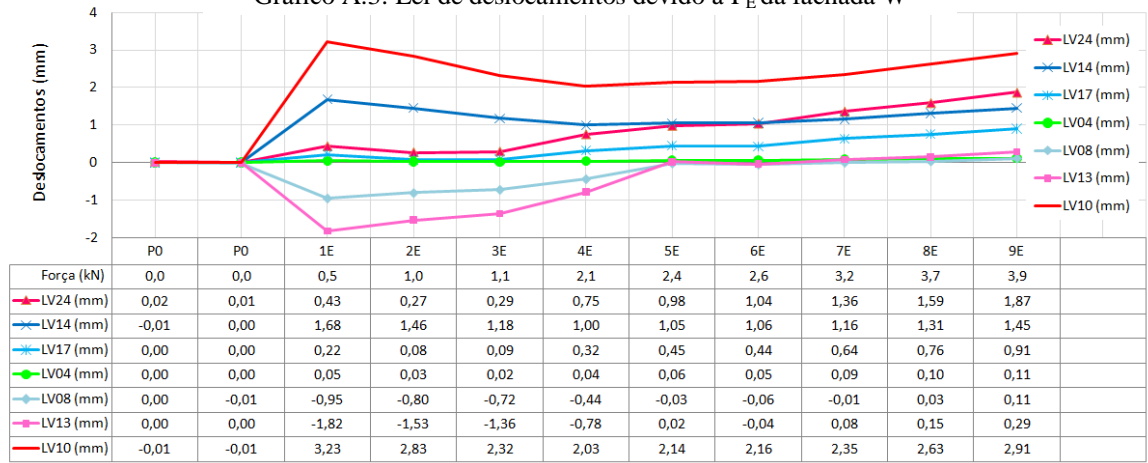
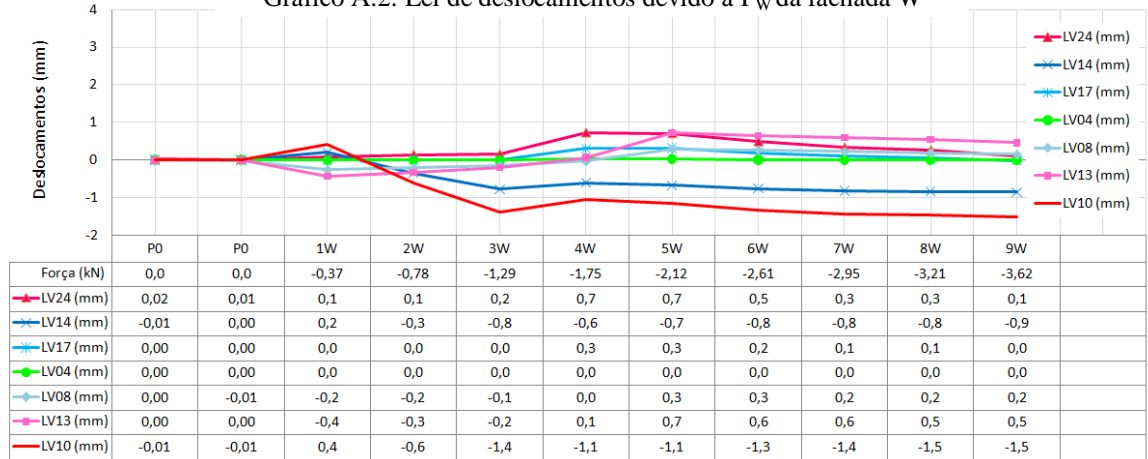
Gráfico A.3. Lei de deslocamentos devido à F_E da fachada WGráfico A.2. Lei de deslocamentos devido à F_W da fachada W

Gráfico A.4. Lei de deslocamentos para cada fim de ciclo da fachada W

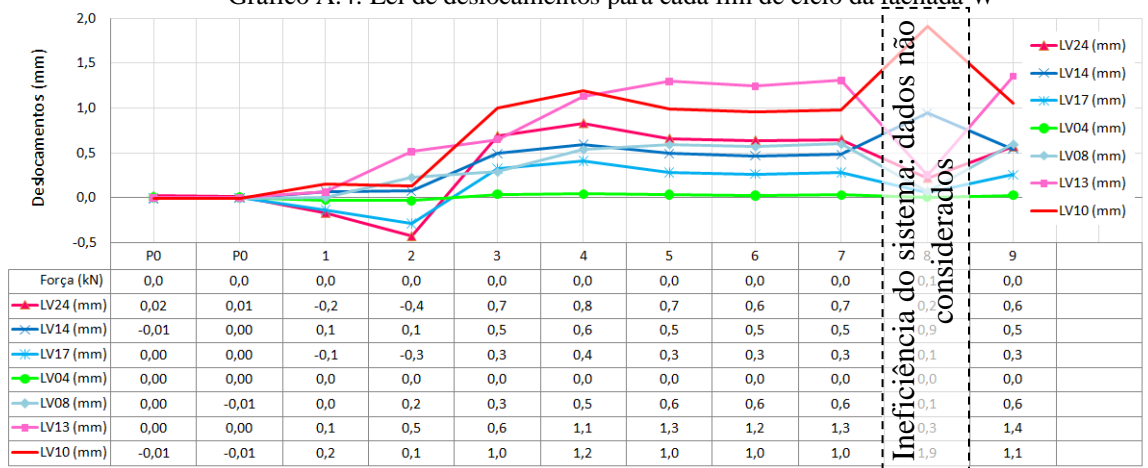
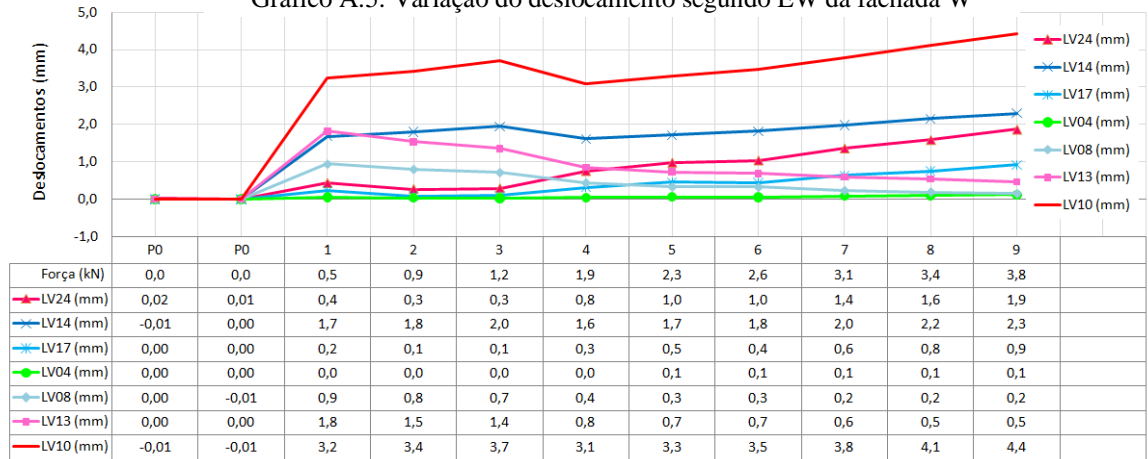


Gráfico A.5. Variação do deslocamento segundo EW da fachada W



Análise da fachada Este (E)

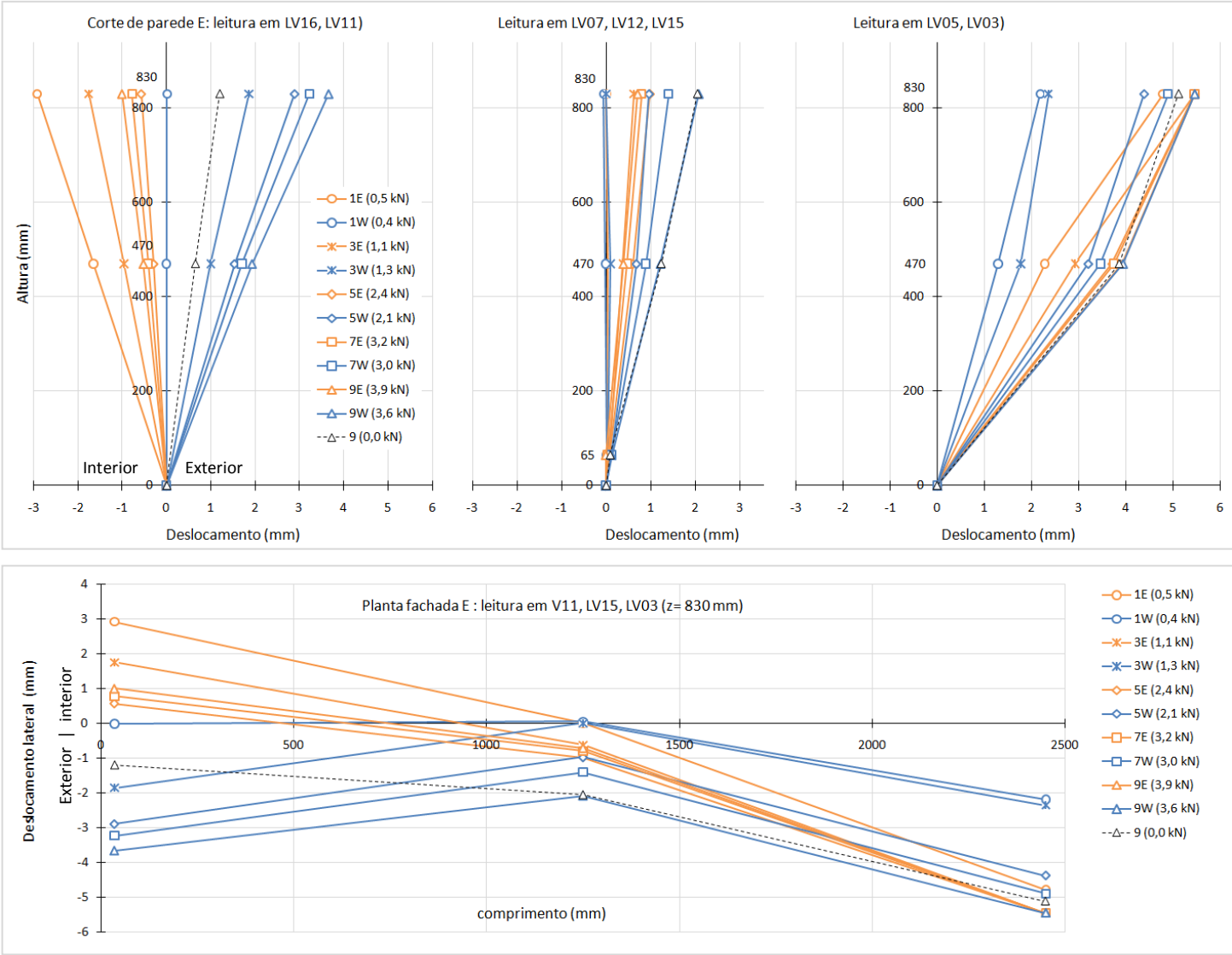
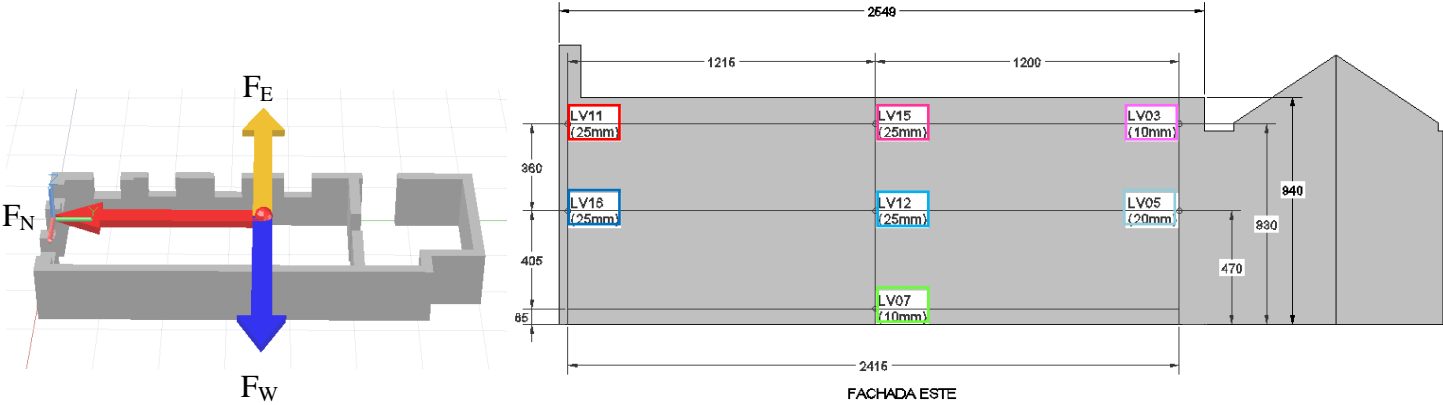


Gráfico A.6. Perfis de corte e planta da deformada da fachada E

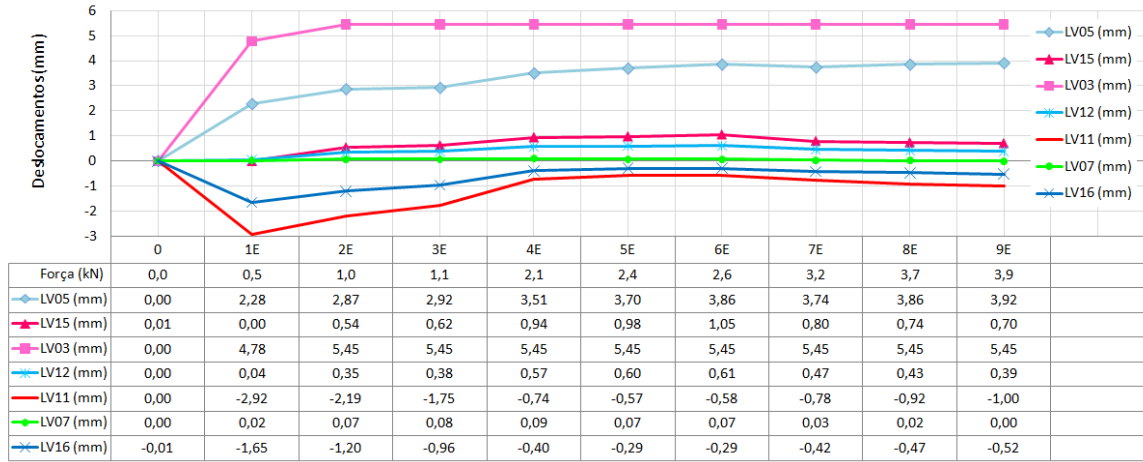
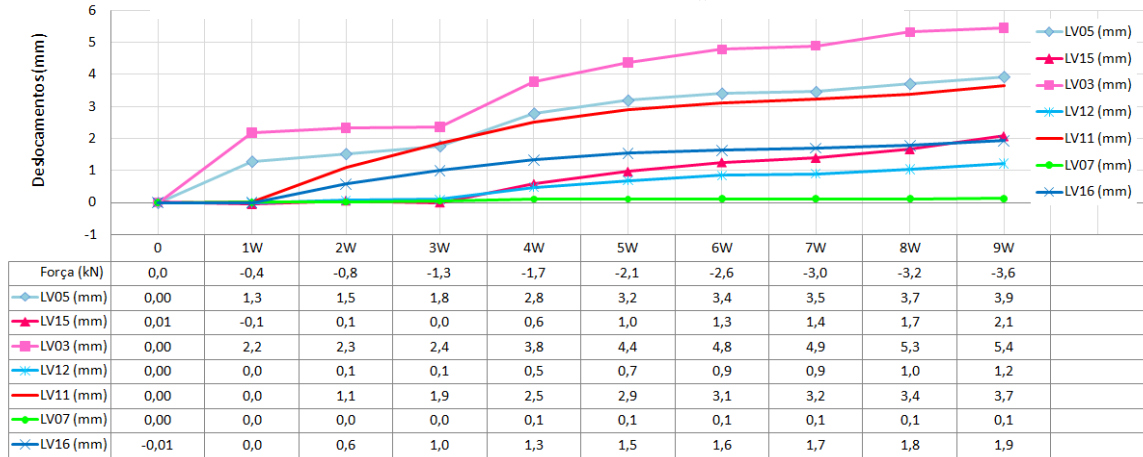
Gráfico A.7. Lei de deslocamentos devido à F_E da fachada EGráfico A.9. Lei de deslocamentos devido à F_W da fachada E

Gráfico A.10. Lei de deslocamentos para cada fim de ciclo da fachada E

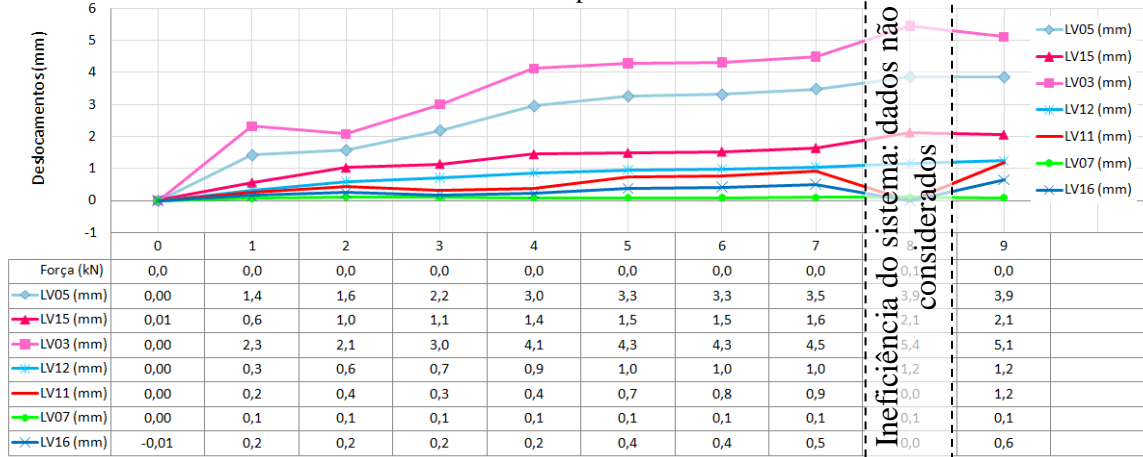
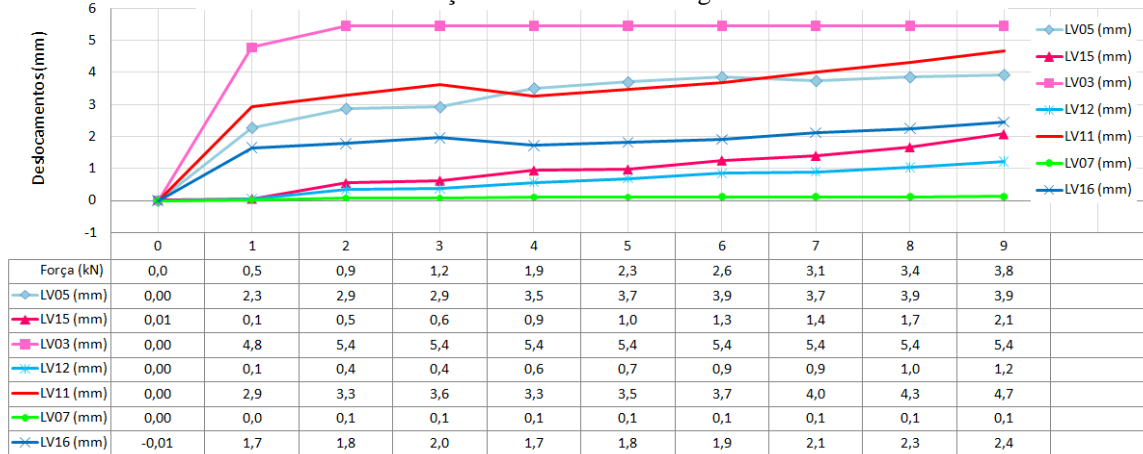


Gráfico A.8. Variação do deslocamento segundo EW da fachada E



Análise da fachada Norte (N)

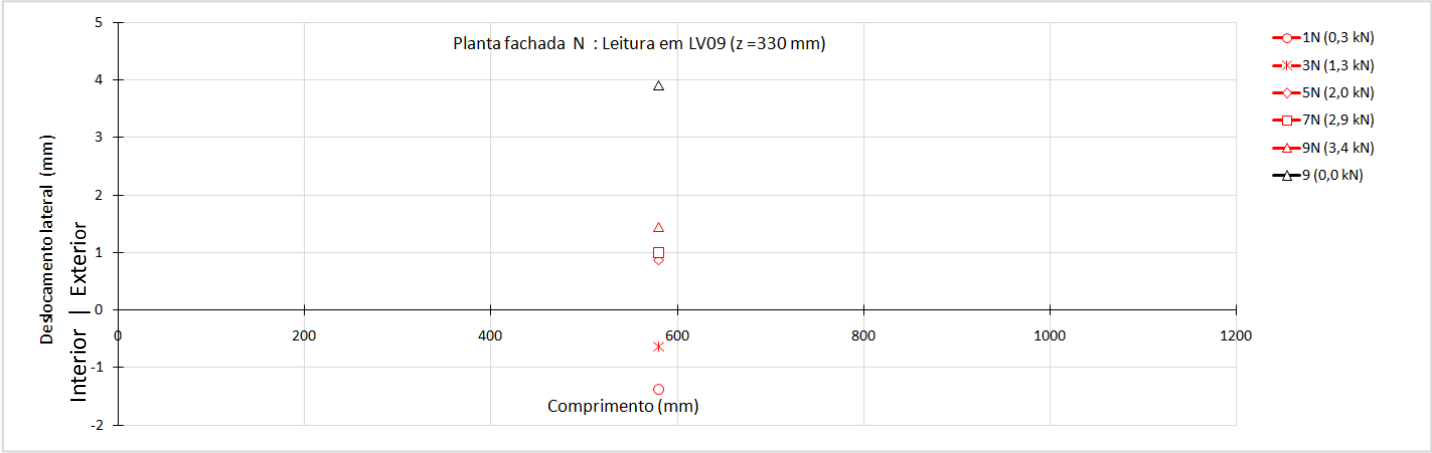
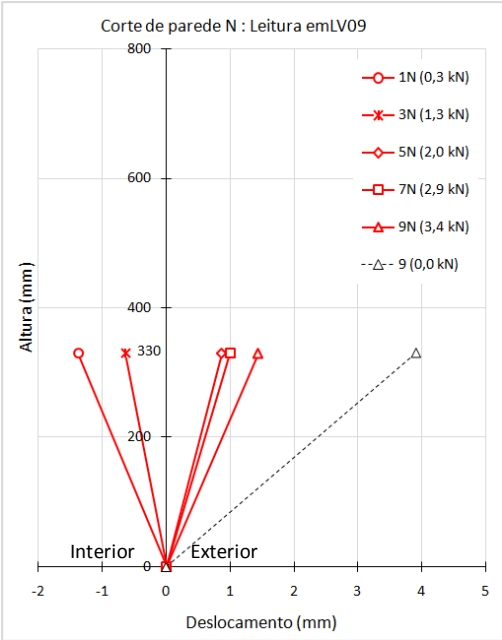
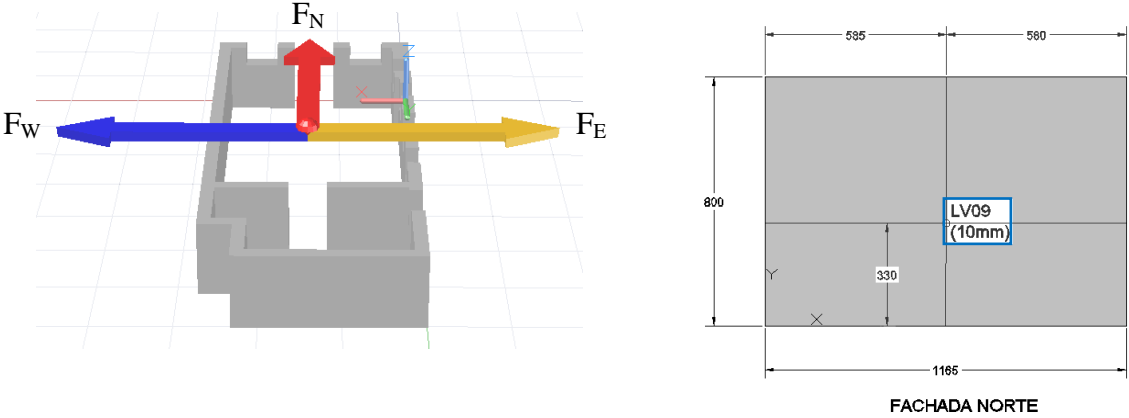
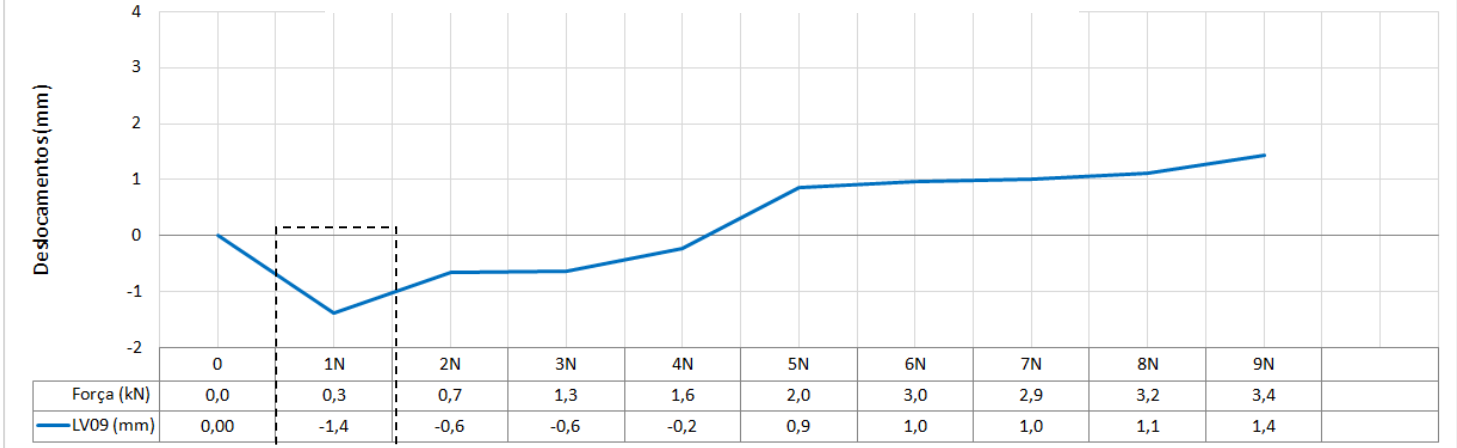


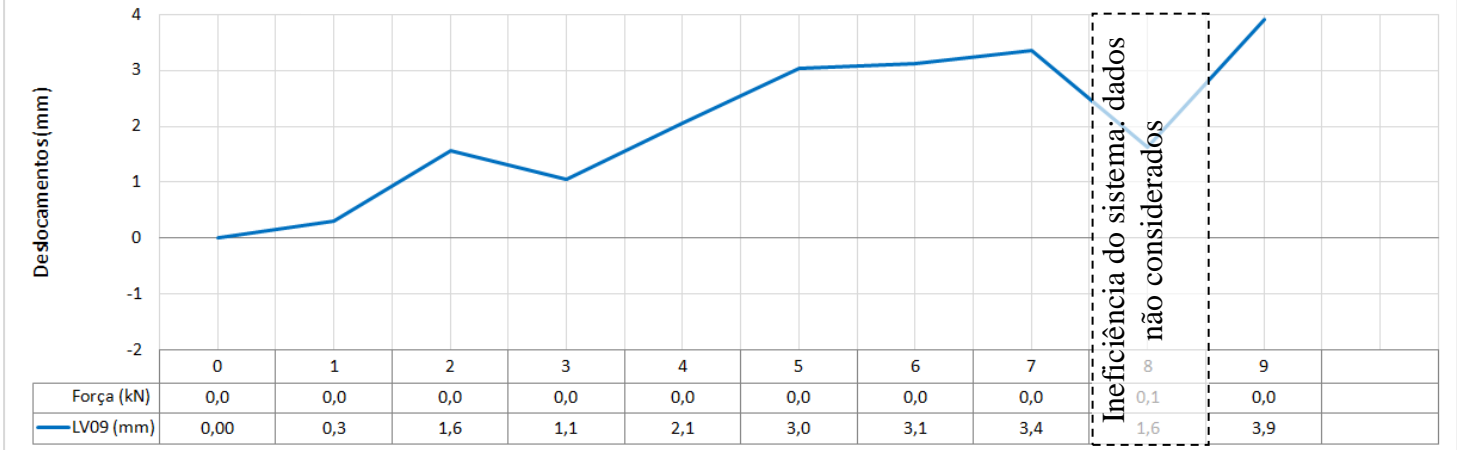
Gráfico A.11. Perfis de corte e planta da deformada da fachada N

Gráfico A.12. Lei de deslocamentos devido à F_N da fachada N



F_{IN} actua em simultâneo com F_{EW} . Ver 11.1

Gráfico A.13. Lei de deslocamentos para cada fim de ciclo da fachada N



Análise da fachada Sul (S)

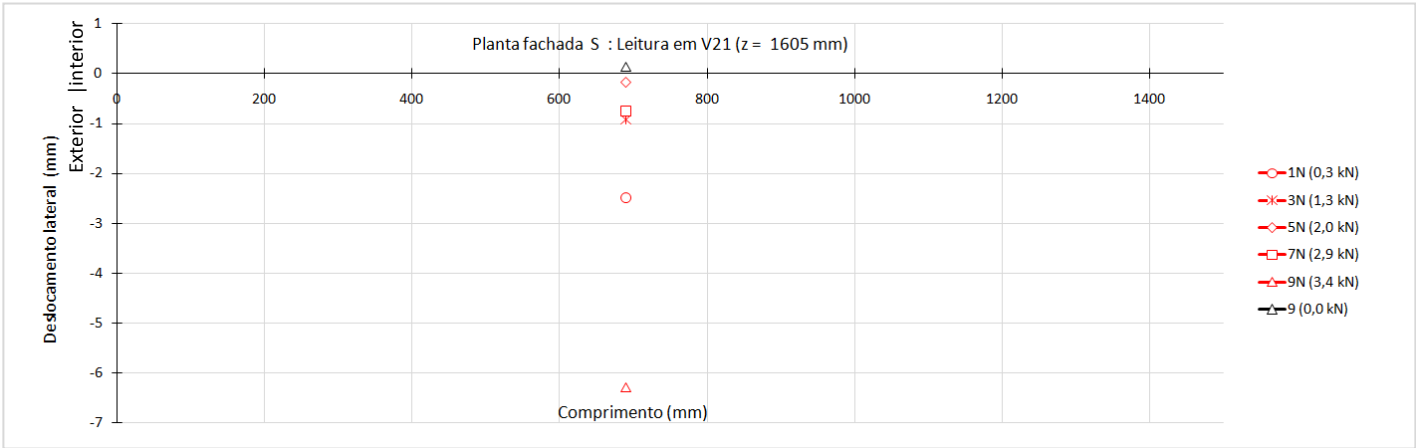
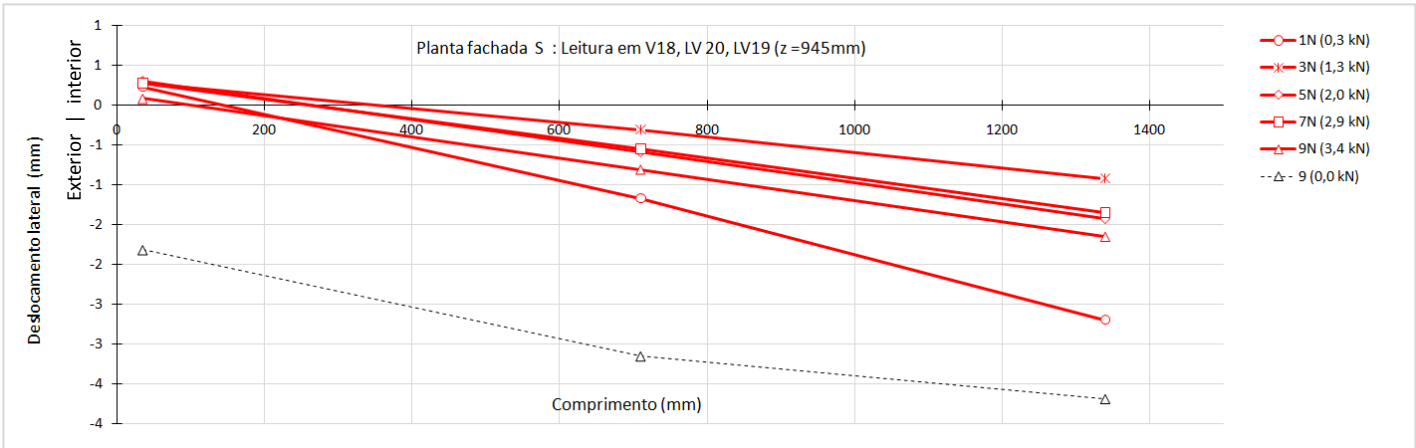
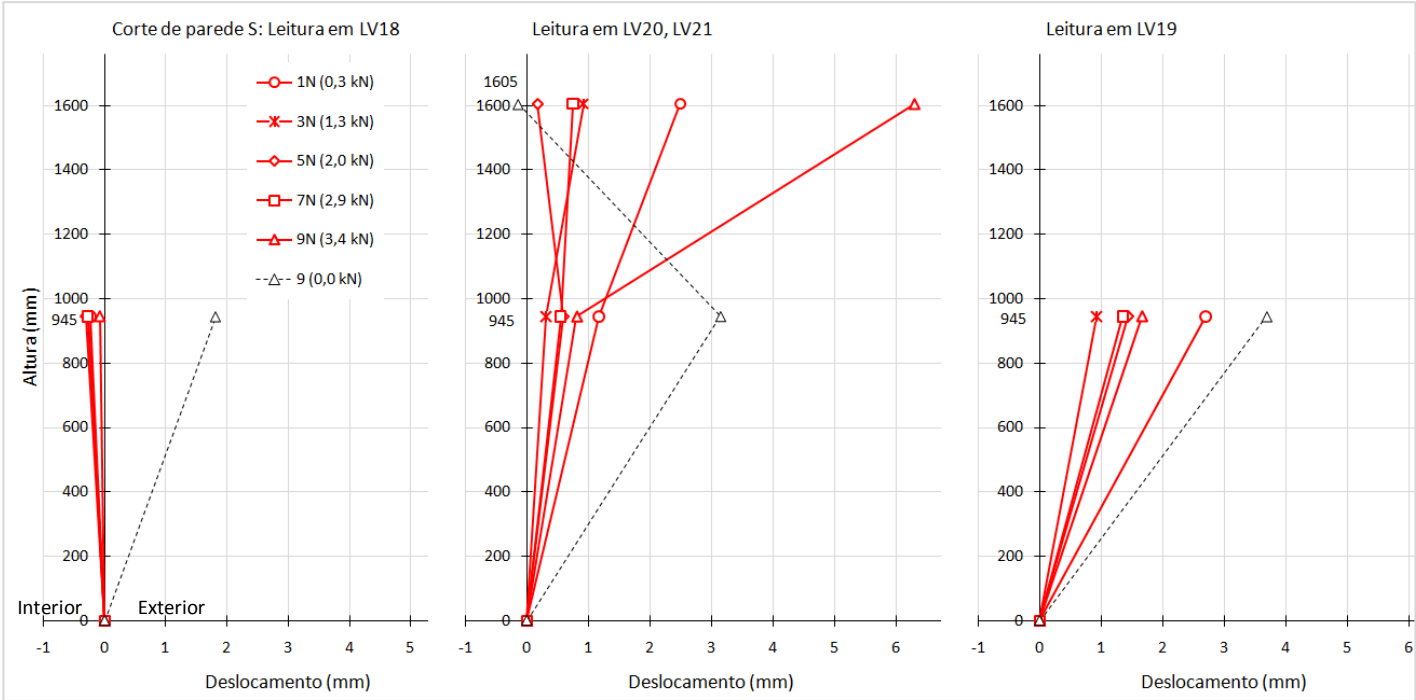
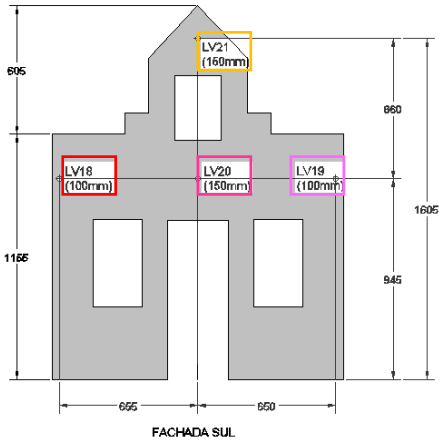
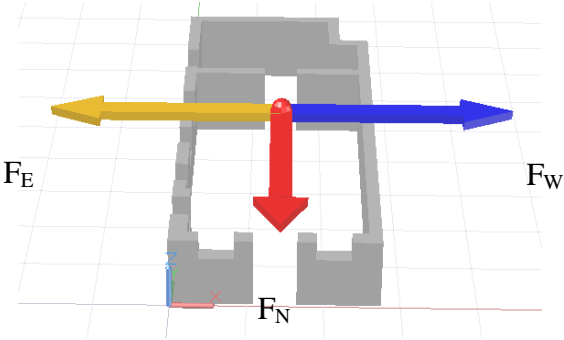
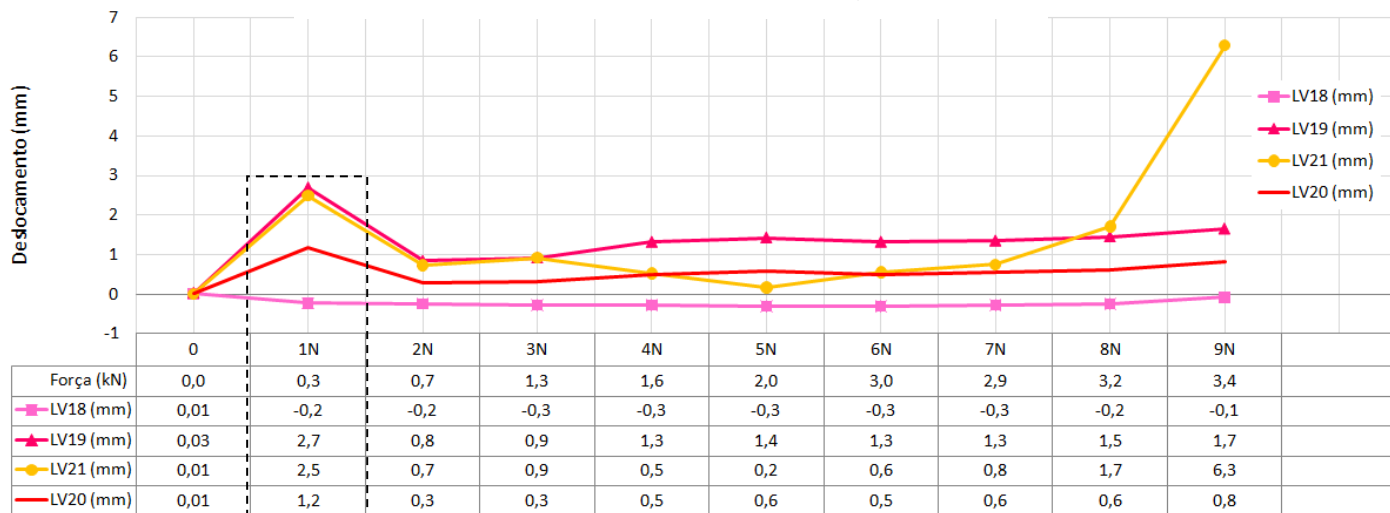
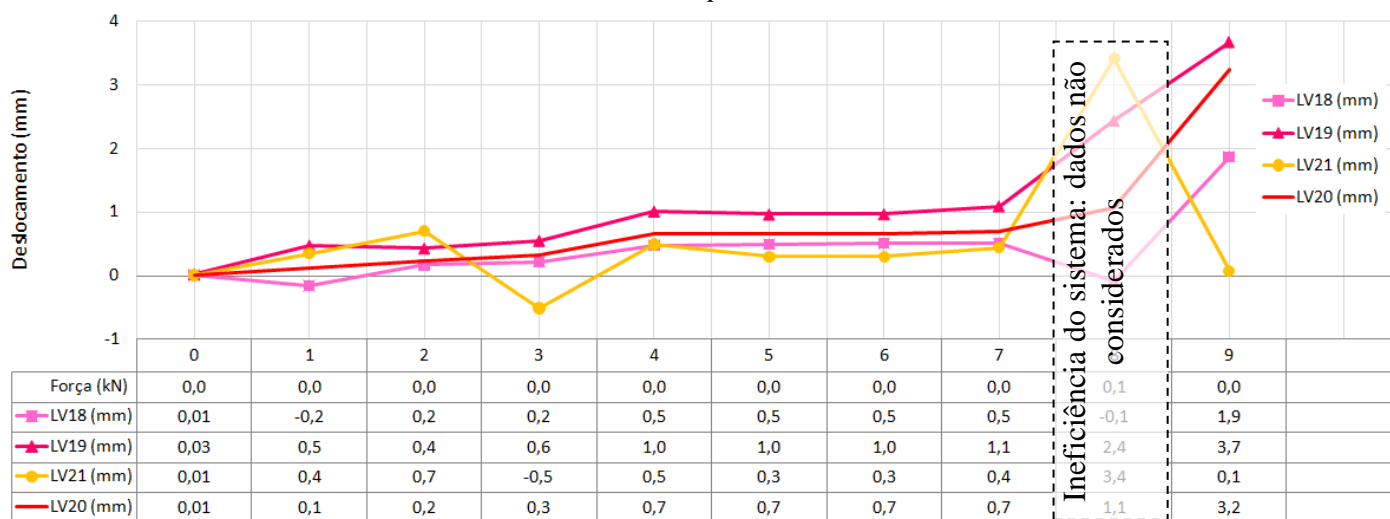


Gráfico A.15. Lei de deslocamentos devido à F_N da fachada S



F_{IN} actua em simultâneo
com F_{EW} . Ver 11.1

Gráfico A.16. Lei de deslocamentos para cada fim de ciclo da fachada S



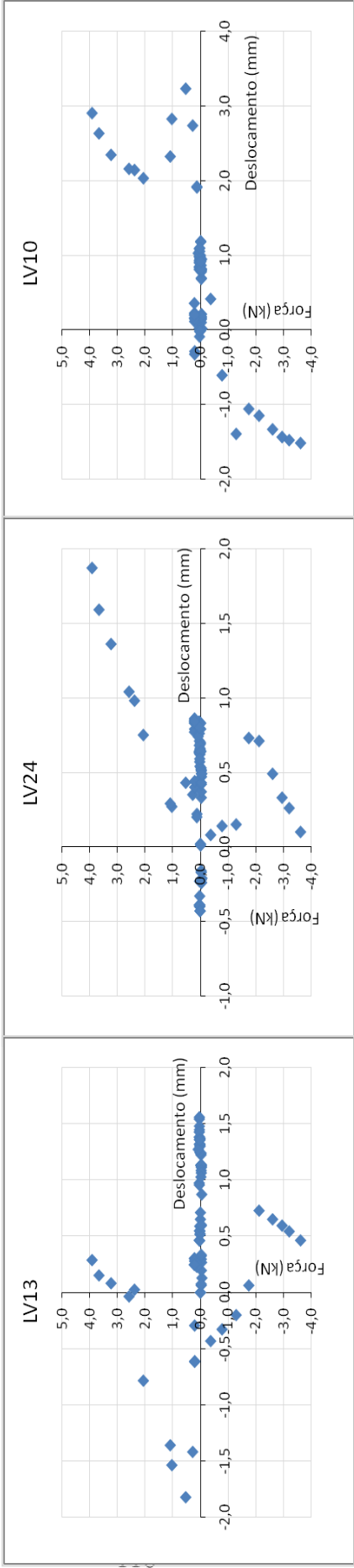


Gráfico A.19. Força EW versus deslocamento no topo da parede W

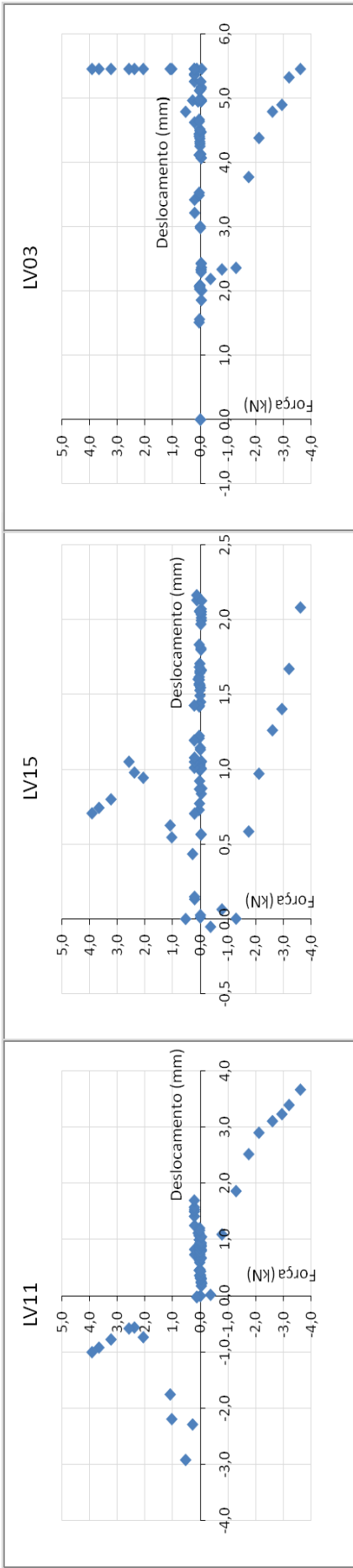


Gráfico A.18. Força EW versus deslocamento no topo da parede E

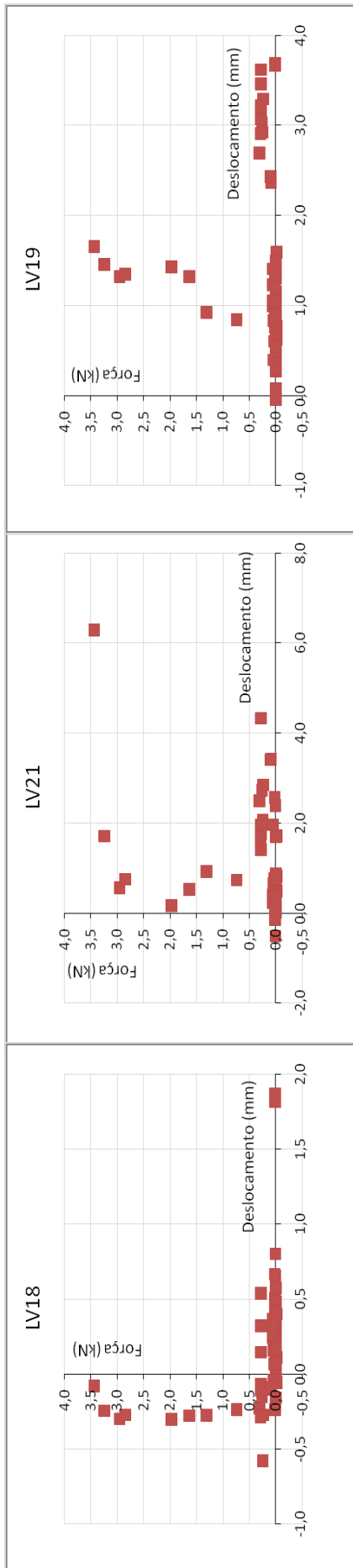


Gráfico A.17. Força NS versus deslocamento no topo da parede S

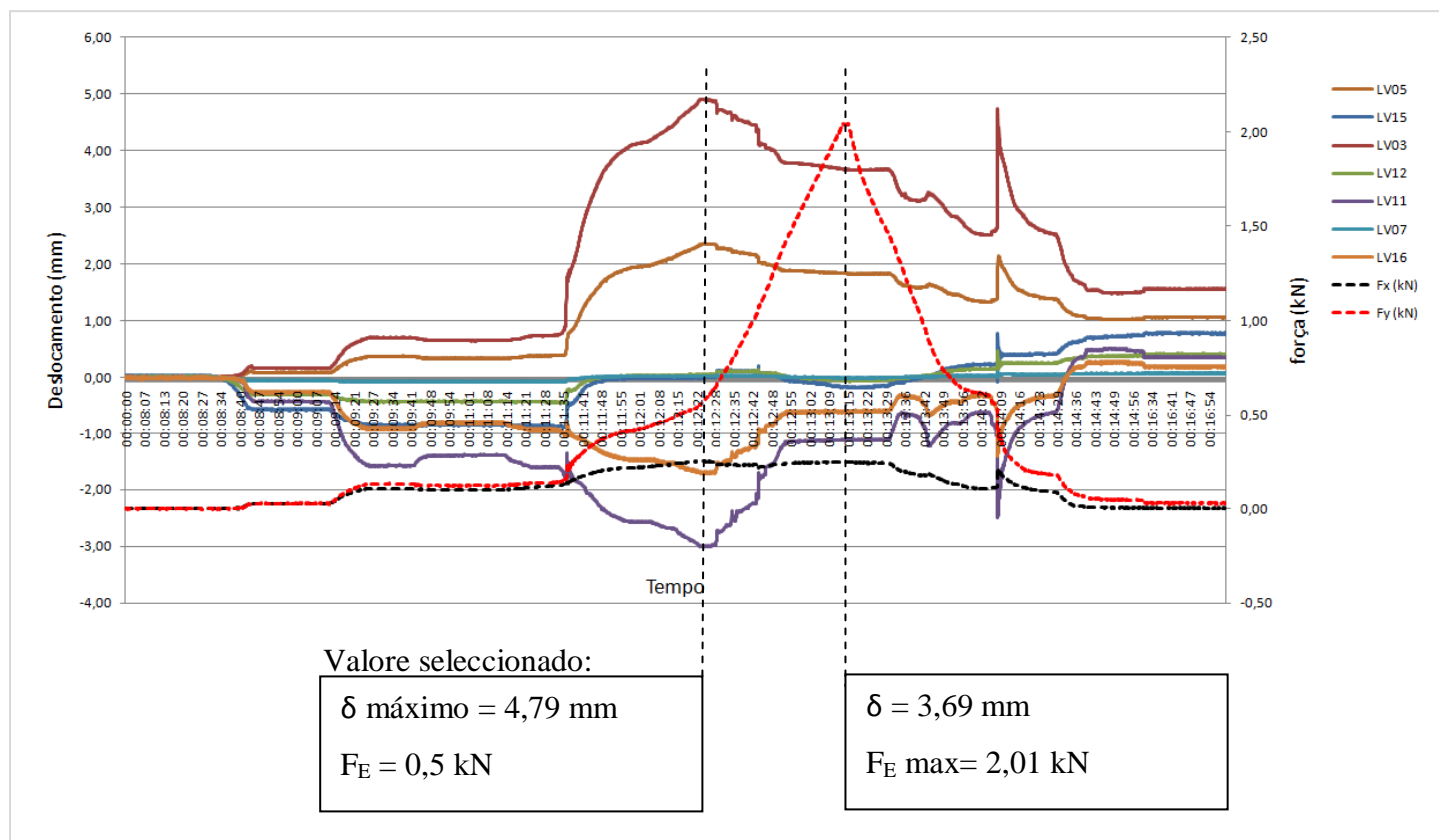
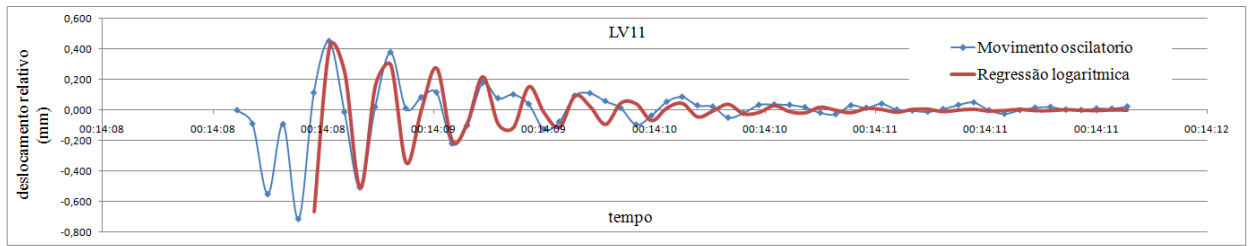


Gráfico A.20. Lei de deslocamento para 1E na fachada E (dados não filtrados)

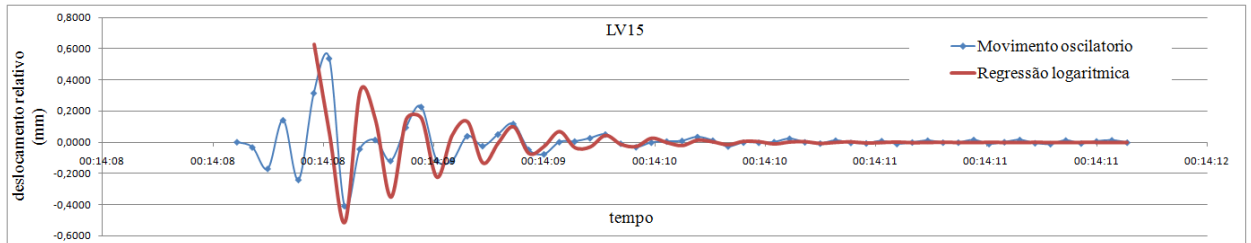
Força (kN)	Parede	Ocorrência	δ (mm)	E_{diss}	λ	σ_{adm} (MPa)
$F_{1E} = 0,53$	W parede com t=75mm	início de fissuração	1,82		25	
$F_{1E} = 0,53$	W parede com t=105mm	δ_{max}	3,23		17,9	0,09
$F_{1W} = 0,4$	E cunhal C5	início de fissuração	2,2		25	
$F_{1N} = 0,3$	S Parede (pisso 0)	início de fissuração	2,7		39	
$F_{1N} = 0,3$	N	$\delta_{max} = \Delta\delta_{max}$	1,4		21	
$F_{1N} = 0,3$	S Parede (pisso 0)	$\delta_{max} = \Delta\delta_{max}$	2,7		39	
$F_1 = 0$	N	δ_o	0,3	79%	21	
$F_1 = 0$	S Parede (pisso 0)	δ_o	0,5	81%	39	
$F_{2E} = 1$	E	δ_{max}	5,45		25	
$F_2 = 0,9$	E	$\Delta\delta_{max}$	5,4		25	
$F_{2N} = 0,7$	S frontão (pisso 1)	início de fissuração na linha de rotura	0,70		39	
$F_2 = 0$	E	δ_o	2,1	61%	25	
$F_{3E} = 1,1$	E	início de fissuração	5,45		25	
$F_{3N} = 1,6$	N	início do desligamento da parede	0,6		21	
$F_{5W} = 2,1$	N	início de fissuração	1,6		21	
$F_{5W} = 2,12$	W parede com t=75mm	δ_{max}	0,7		25	
$F_{8N} = 3,2$	S frontão (pisso 1)	$\delta_{max} = \Delta\delta_{max}$	1,70		39	
$F_8 = 0$	S frontão (pisso 1)	δ_o	$\approx 0,4$	76%	39	
$F_{9E} = 3,9$	W parede com t=105mm	sem fissuração desde o início do ensaio	2,91		17,9	0,09
$F_{9E} = 3,9$	W parede com t=75mm	δ_{max}	1,87		25	
$F_{9W} = 3,6$	E	δ_{max}	5,4		25	
$F_{9W} = 3,62$	W parede com t=105mm	δ_{max}	1,5		17,9	0,09
$F_9 = 3,8$	W parede com t=75mm	$\Delta\delta_{max}$	1,9		25	
$F_9 = 3,8$	W parede com t=105mm	$\Delta\delta_{max}$	4,4		17,9	0,09
$F_{9N} = 3,4$	S frontão (pisso 1)	Rotura	$>1,7$		39	
$F_9 = 0$	W parede com t=75mm	δ_o	0,6	68%	25	
$F_9 = 0$	W parede com t=105mm	δ_o	1,1	75%	17,9	0,09

Quadro A.11. Resumo da análise da casa por ordem cronológica

Fachada E	LV11
z (mm)	830
Ao (mm)	-0,7
An (mm)	-0,094
n	6
δ	0,33463093
ζ	0,05318279
Wo (rad/s)	33,00
wd (rad/s)	32,9532982
ϕ (deg)	18
ϕ (rad)	0,31415927
m (kg/m)	167
I(m ⁴)	3,3E-05
E (Mpa)	213



Fachada E	LV15
z (mm)	830
Ao (mm)	0,725
An (mm)	0,012
n	9
δ	0,45569611
ζ	0,07233629
Wo (rad/s)	33,50
wd (rad/s)	33,41224
ϕ (deg)	-30
ϕ (rad)	-0,5235988
m (kg/m)	314,2
I(m ⁴)	6,2E-05
E (Mpa)	219,00



Fachada E	LV03
z (mm)	830
Ao (mm)	0,725
An (mm)	0,012
n	9
δ	0,45569611
ζ	0,07233629
Wo (rad/s)	33,50
wd (rad/s)	33,41224
ϕ (deg)	-30
ϕ (rad)	-0,5235988
m (kg/m)	181,8
I(m ⁴)	3,6E-05
E (Mpa)	219

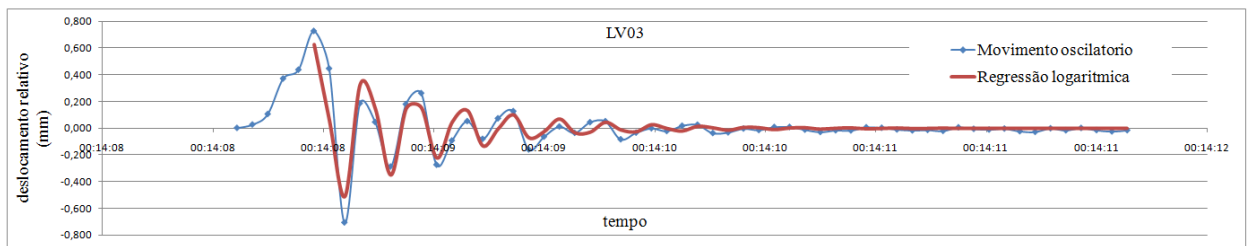
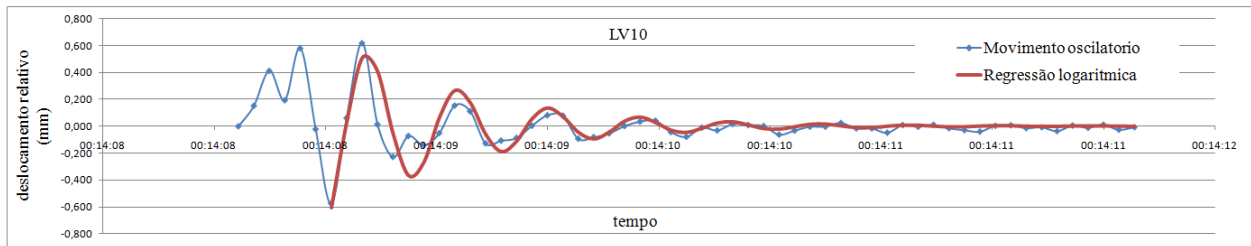
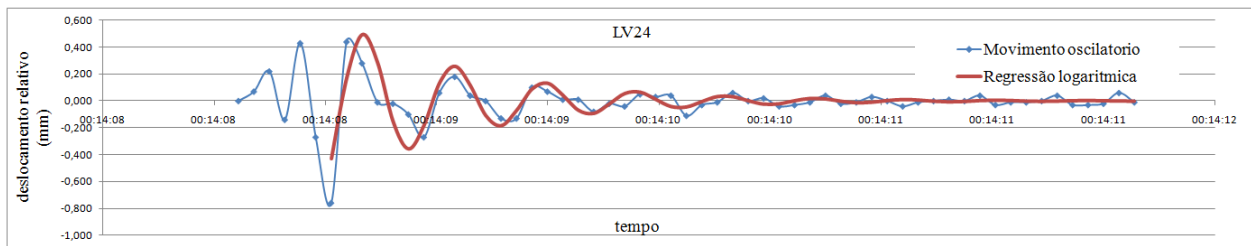


Gráfico A.21. Movimento oscilatório no topo da parede E

Fachada W	LV10
z (mm)	830
Ao (mm)	-0,8
An (mm)	-0,1
n	3
δ	0,69314718
ζ	0,10965258
Wo (rad/s)	18,00
wd (rad/s)	17,8914596
ϕ (deg)	-30
ϕ (rad)	-0,5235988
m (kg/m)	204
I(m ⁴)	7,3E-05
E (Mpa)	35



Fachada W	LV24
z (mm)	830
Ao (mm)	-0,7
An (mm)	-0,1
n	3
δ	0,64863672
ζ	0,10268801
Wo (rad/s)	18,00
wd (rad/s)	17,904845
ϕ (deg)	-15
ϕ (rad)	-0,2617994
m (kg/m)	279
I(m ⁴)	5,5E-05
E (Mpa)	63



Fachada W	LV13
z (mm)	830
Ao (mm)	-0,5
An (mm)	-0,017
n	6
δ	0,56356579
ζ	0,08933565
Wo (rad/s)	33,00
wd (rad/s)	32,8680521
ϕ (deg)	0
ϕ (rad)	0
m (kg/m)	163
I(m ⁴)	3,2E-05
E (Mpa)	213

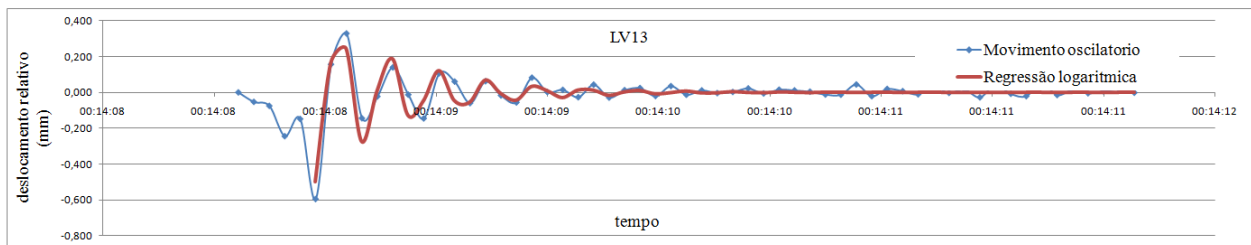
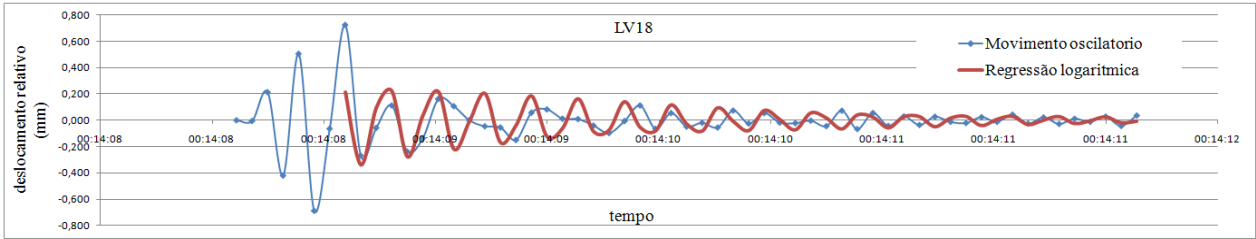
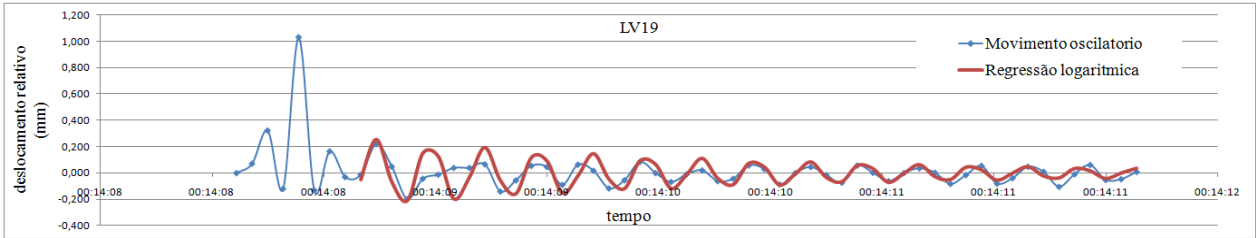


Gráfico A.22. Movimento oscilatório no topo da parede W

Fachada S	LV18
z (mm)	945
Ao (mm)	-0,4
An (mm)	-0,03
n	16
δ	0,1618917
ζ	0,02575732
Wo (rad/s)	34,00
w _d (rad/s)	33,9887197
ϕ (deg)	0
ϕ (rad)	0
m (kg/m)	107
I(m ⁴)	3,9E-05
E (Mpa)	207



Fachada S	LV19
z (mm)	945
Ao (mm)	0,3
An (mm)	0,03
n	17
δ	0,13544618
ζ	0,02155192
Wo (rad/s)	30,00
w _d (rad/s)	29,9930319
ϕ (deg)	-50
ϕ (rad)	-0,8726646
m (kg/m)	107
I(m ⁴)	3,9E-05
E (Mpa)	161



Fachada S	LV21
z (mm)	1605
Ao (mm)	0,2
An (mm)	0,05
n	17
δ	0,08154673
ζ	0,01297747
Wo (rad/s)	33,00
w _d (rad/s)	32,997221
ϕ (deg)	50
ϕ (rad)	0,87266463
m (kg/m)	114
I(m ⁴)	3,1E-05
E (Mpa)	2147

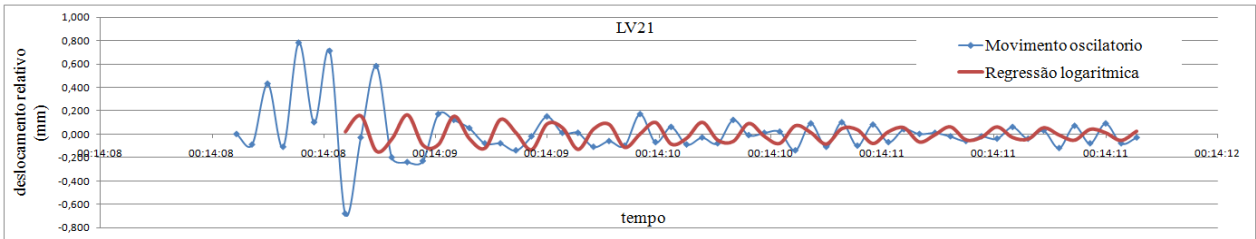


Gráfico A.23. Movimento oscilatório no topo da parede S

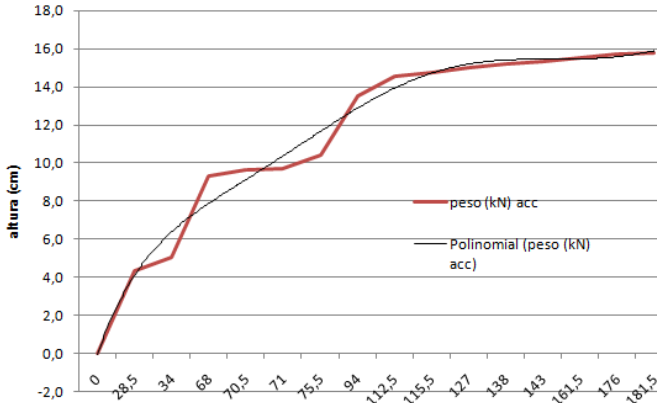
Fachada		δ	ζ	w _d (rad/s)	w _o (rad/s)	E (MPa)
E	LV11	0	0,05318	33	33	213
	LV15	0	0,07234	33	34	219
	LV03	0	0,07234	33	34	219
W	LV10	1	0,10965	18	18	35
	LV24	1	0,10269	18	18	63
	LV13	1	0,08934	33	33	213
S	LV18	0	0,02576	34	34	207
	LV19	0	0,02155	30	30	161
	LV21	0	0,01298	33	33	2147

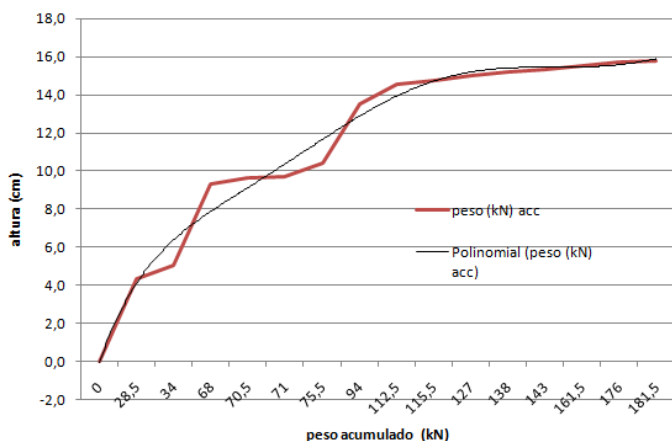
Quadro A.12. Quadro resumo das frequências e módulo de elasticidade por fachada

PROPRIEDADES GEOMETRICAS E FISICAS DA CASA

Calculo do peso da casa

blocos

			dimensão bloco (cm):			22	10,5	7,5	peso bloco (kg):			3,4823			
			volume bloco (cm3):			1732,5	peso volumico (kg/cm3):			2,010E-03					
nivel	cota z (cm)	h (cm)	areas (cm2)						total (vrt)	total hz	volume (cm3)	volume (m3) acc	peso (kg) acc	peso (kN) acc	
			w1	w2	e	n1	n2	s							
			7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	10,5							0
0	0	28,5									219436	0,219	441,06	4,33	
1	28,5	5,5									37583	0,257	516,60	5,07	
2	34	34									215195	0,472	949,14	9,31	
3	68	2,5									16873	0,489	983,06	9,64	
4	70,5	0,5									3375	0,492	989,84	9,71	
5	71	4,5									35080	0,528	1060,35	10,40	
6	75,5	18,5									158009	0,686	1377,94	13,51	
7	94	18,5									54540	0,740	1487,57	14,59	
8	112,5	3									6993	0,747	1501,62	14,73	
9	115,5	11,5									15769	0,763	1533,32	15,04	
10	127	11									9837	0,773	1553,09	15,23	
11	138	5									3563	0,776	1560,25	15,30	
12	143	18,5									12719	0,789	1585,82	15,55	
13	161,5	14,5									9995	0,799	1605,91	15,75	
14	176	5,5									2841	0,802	1611,62	15,81	
15	181,5										0	0,802	1611,62	15,81	
TOTAL		181,5									801807				



madeira

peso especifico pinho adoptado (kN/m3): 5,6								
descrição	unidade	L(m)	L total (m)	h(mm)	b(mm)	volume (m3)	peso (kg)	peso (kN)
barrotes	25	1,37	34,25	33	25	0,0283	16,15	1,58E-01
frechal	2	2,49	4,98	33	33	0,0054	3,10	3,04E-02
varas	16	2,5	40	15	10	0,0060	3,43	3,36E-02
varas	1	1,2	1,2	33	33	0,0013	0,75	7,32E-03
varas	2	2,5	5	33	20	0,0033	1,89	1,85E-02
varaA	40	1,041	41,64	33	20	0,0275	15,70	1,54E-01
varaB	2	1,041	2,082	33	60	0,0041	2,36	2,31E-02
fecho	1	1,36	1,36	10	40	0,0005	0,31	3,05E-03
fecho	1	2,5	2,5	10	90	0,0023	1,29	1,26E-02
ripas	15	2,4	36	30	20	0,0216	12,34	1,21E-01
peça	18	0,72	12,96	33	33	0,0141	8,06	7,90E-02
peça	4	1,36	5,44	33	33	0,0059	3,39	3,32E-02
peça	10	0,52	5,2	33	20	0,0034	1,96	1,92E-02
peso especifico platex adoptado (kg/m3): 800								
platex	1	0,01	0,010	1250	2360	0,0295	23,60	2,31E-01
platex	2	0,01	0,02	60	60	0,0001	0,06	5,64E-04
total						0,1533	94,3745	0,9249

telhas

descrip	un	kg/un	peso (kg)	peso (kN)
telha lusa junior	350	0,9	315	3,087
telhao	18	0,9	16,2	0,159
total			331,2	3,246

argamassa

area (m2)	20,65
espessura aprox (mm)	10
volume (cm3)	206495,53
peso especifico adoptado (kg/cm3)	2,010E-03
peso (kN)	4,07

415,03 kg

resumo

materiais	peso (kN)
blocos	15,81
madeira	0,92
telhas	3,25
argamassa	4,07
total	24,04

2453 kg

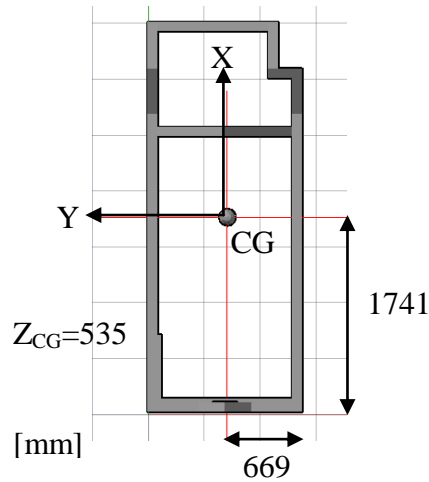
densidade: 3060 kg/m3
30,0 kN/m3

Quadro A.13. Determinação do peso total da casa

FACHADA	LV	z (mm)	b equivalente (mm)	e (mm)	Peso (kN)	Iy (m4)	kg/m
W	LV10	830	579	115	0,6	0,000073	203,6
	LV24	830	1074	85	0,8	0,000055	279,3
	LV13	830	626	85	0,5	0,000032	162,7
	LV14	470	643	115	0,6	0,000081	226,3
	LV17	470	1208	85	0,8	0,000062	314,2
	LV08	470	699	85	0,5	0,000036	181,8
	LV04	65	1208	85	0,8	0,000062	314,2
E	LV11	830	643	85	0,5	0,000033	167,2
	LV15	830	1208	85	0,9	0,000062	314,2
	LV03	830	699	85	0,5	0,000036	181,8
	LV16	470	643	85	0,6	0,000033	167,2
	LV12	470	1208	85	1,2	0,000062	314,2
	LV05	470	699	85	0,7	0,000036	181,8
	LV07	65	1208	85	0,8	0,000062	314,2
N	LV09	330	1165	85	2,0	0,000060	303,0
S	LV18	945	304	115	1,0	0,000039	107,0
	LV20	945	690	115	1,7	0,000087	242,8
	LV19	945	304	115	1,0	0,000039	107,0
	LV21	1605	372	100	0,4	0,000031	113,9
resto					8,2		
total					24,0		

Quadro A.14. Propriedades físicas e geométricas das paredes.

Propriedades geométricas do modelo (função MASSPROP do Autocad):



	Casa	Fachada W	Fachada E	Fachada S
Centroid (mm)	X:0 Y:0 Z:0	X:-516 Y: 664 Z: -71	X: -449 Y: -626 Z: -65	X: -1685 Y: 21 Z: 137
Moments of inertia (mm ⁴)	X: 3.5434E+14 Y: 1.3274E+15 Z: 1.4806E+15	X: 1.4750E+13 Y: 1.0056E+14 Z: 8.6103E+13	X: 1.3903E+13 Y: 9.9541E+13 Z: 8.5864E+13	X:5.1910E+13 Y:2.6504E+13 Z:2.5730E+13
Products of inertia (mm ⁸)	XY: -8.8521E+11 YZ: 7.9288E+11 ZX: -3.1285E+13	XY:7.6440E+11 YZ: 1.7667E+8 ZX:6.7337E+10	XY: -0.3097 YZ: 0.3672 ZX: 0.4018	XY: 0.0202 YZ: -0.2354 ZX:-3.6761E+11
Radii of gyration (mm)	X: 642 Y: 1243 Z: 1313	X: 295 Y: 770 Z: 712	X: 272 Y: 729 Z: 677	X: 593 Y: 424 Z: 417
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid	I: 3.5347E+14 J: 1.3274E+15 K: 1.4815E+15	I: 1.4743E+13 J: 1.0057E+14 K: 8.6103E+13	I: 1.3903E+13 J: 9.9541E+13 K: 8.5864E+13	I: 5.1915E+13 J: 2.6504E+13 K: 2.5725E+13
Volume (mm ³)	8.5895E+8	1.6973E+8	1.8729E+8	1.4771E+8
Momento de inércia relativo a base pelo eixo fraco (mm ⁴)		5.1402E+13	5.275E+13	9.327E+13



Granulometria:	
Retido a 200 microns	≤ 4%.
Teor em CaO _T	≥ 94%.
Teor em MgO	≤ 1%.
Densidade aparente na ordem de 1.	

LUSICAL

F.P: 351 - CV 19 de 06/2010



Lusical QM

DESCRIÇÃO

A **Lusical QM** é uma cal de construção que após extinção é utilizada como ligante, individual ou incorporada nas misturas formuladas.

E é aplicada principalmente nas argamassas, rebocos, e numa forma geral na construção civil.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS e QUÍMICAS

Determinadas pelos métodos Laboratório Grupo
em conformidade com os modos operatórios normalizados

Nos produtos formulados,

- a granulometria da **Lusical QM** otimiza a eficácia do produto acabado.
- sua brancura garante uma qualidade constante das argamassas.
- seu forte teor em óxido de cálcio dá à argamassa a trabalhabilidade e sua permeabilidade ao ar

DOSAGEM e APLICAÇÃO

A **Lusical QM** é entregue sob a forma pulverulenta. Sua dosagem é feita a partir do silo de armazenamento.

Ela é extraída do silo com a ajuda de equipamentos de descolmatação como fundos vibrantes, canhões de ar, ou desagregadores rotativos.

O produto é transportado por parafusos sem fim.

Os materiais de dosagem devem ter em conta as características físicas do produto - densidade, fluidez - respondendo às exigências de precisão requeridas.

CONDICIONAMENTO

Entregue em saco, big-bag e em cisterna, a **Lusical QM** é armazenada em silos estanques.

DADOS de SEGURANÇA

Ficha de segurança: Óxido de Cálcio.

O produtor garante que todas as diligências são efectuadas para o respeito dos critérios definidos. No entanto, trata-se de produtos naturais que podem apresentar ligeiras variações nas características físico-químicas sem incidência notável sobre a qualidade do produto



Lusical

01- 06-2010

Valverde—2025-201 Alcanede - Portugal
Telefone (+351)243 409 040: - Fax (+351) 243 400 474—E-mail: info.lusical@thoist.com

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARBOSA, N.; MATTONE R. (2002); “Construção com terra. I SIACOT, Projeto de Investigação PROTERRA”, Salvador (Brasil).
- [2] GOMES, M. (2008); “Construção Sismo-resistente em terra Crua”. *Dissertação de Mestrado*, Instituto Superior Tecnico, Lisboa (Portugal).
- [3] LOPES, V. (2012); “Estudo da viabilidade da incorporação de resíduo de sisal em BTC”. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Aveiro, Aveiro (Portugal).
- [4] LOBO, B. (2013); “Técnicas de reforço em edifícios de adobe”. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Aveiro, Aveiro (Portugal).
- [5] JALALI, S.; EIRES, R. (2008); “Inovações científicas de construção em terra crua”, Universidade do Minho, Guimarães (Portugal).
- [6] JALALI, S.; EIRES, R. (2007); “Blocos de terra comprimidos de elevado desempenho utilizando misturas metacaulino-cal”, Universidade do Minho, Braga (Portugal).
- [7] MAYOR MORA, A. (2005); “Inventos y patentes en Colombia, 1930-2000”, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín (Colômbia), Setembro 2005.
- [8] CRATERRE – EAG (1991); “Le Bloc de Terre Comprimée – élément de base”. *CRATERRE – EAG, Gate*, Eschborn (Alemanha).
- [9] HOUBIN, H.; RIGASSI, V. ; GARNIER, P. (1996); “Le bloc de Terre Comprimée – équipement de production” (2^o edition). *CRATERRE –EAG*, Bruxelles (Belgica).
- [10] RIGASSI, V. (1995); “Bloc de terre comprimée, volume I, Manuel de production”, *CRATERRE – EAG, Gate*, Eschborn (Alemanha).
- [11] GUILLAUD, H.; JOFFROY, T.; ODUL, P. (1995); “Bloc de terre comprimée, volume II, Manuel de conception et de construction”; *CRATERRE – EAG, Gate*, Eschborn (Alemanha).
- [12] CRATERRE – EAG (1998); “Bloc de terre comprimée, Normes” ; *CRATERRE – EAG CDI*, Bruxelles (Belgica).
- [13] MENDES, M. (2010); “Bloco de terra comprimida”, *Centro da Terra, 6^oATP/9^oSIATCOT*, Coimbra (Portugal).
- [14] ARRAUJO, A. (2008); “Caiação sobre alvenaria”; Instituto Superior Tecnico, Lisboa, (Portugal).

- [15] VARUM, H.; MORAIS, J.; LOUSADA, J.; JESUS, A.; PINTO, J.; CARVALHO, J.; “Construções em Tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro”. Departamento de Engenharias. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. (Portugal)
- [16] PAULA, F. (2012); “Arquitectura de terra”, em www.aventar.eu, (Portugal); Março 2012.
- [17] BLONDET, M.; GRACIA, G. (2004); “Earthquake resistant earthen buildings”, *13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, B.C. (Canada), Agosto 2004.
- [18] SILVEIRA, D.; VARUM, H.; COSTA, A.; LIMA, E. (2013); “Levantamento e caracterização do parque edificado em adobe na cidade de Aveiro”, *digitAR, nº. 1*, pp. 102-108; Aveiro (Portugal).
- [19] PERREIRA, H. (2008); “Caracterização do comportamento estrutural de construções em adobe”. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Aveiro, Aveiro (Portugal).
- [20] SANTOS NETO, C. (2008); “Estratégia para caracterização do edificado em adobe em Aveiro”. *Dissertação de Mestrado*, Universidade de Aveiro, Aveiro (Portugal).
- [21] OLIVEIRA, C.; VARUM, H.; GUERREIRO, L. (2005); “Arte nova em Aveiro e sua relação com o adobe”, Universidade de Aveiro, Aveiro (Portugal).
- [22] Núcleo de engenharia sísmica e dinâmica de estruturas - LNEC (2005), “Sismicidade e tectónica em Portugal”. *LNEC*, Lisboa (Portugal).
- [23] SILVEIRA, D.; VARUM, H.; COSTA, A. (2007); “Análise do comportamento sísmico de construções existentes em adobe”. *7º congresso de sismologia e engenharia sísmica*, Sismica 2007.
- [24] NIKER (2010); “New integrated knowledge based approaches to the protection of cultural heritage from earthquake-induced risk”, Università di Padova (Italia).
- [25] PACHECO, M.; CORONA, L.; BATIZ, O.; SALINAS, C. (2007); “Cartilla breve para refuerzo de la vivienda rural de autoconstrucion contra sismo e viento”. *CENAPRED*, Coyoacan, (Mexico).
- [26] TORGAL, F.; JALALI, S.; “Construção em Terra: Algumas considerações sobre Selecção de solos”. Universidade do Minho, Guimarães (Portugal)

- [27] INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA (2001); “Sebenta: Mecanica de solos e fundações 1”. Lisboa (Portugal).
- [28] BLONDET, M.; GARCIA, G.; LOAIZA, C. (2003); “Vivienda sismoresistentes de tierra”. *XIV Congreso Nacional de Ingeniaria Civil de Quito*, Quioto (Peru).
- [29] ADRIANO OLIVEIRA, L. (2011); “Dissertação e tese em ciência e tecnologia segundo Bolonha”. *Edições técnicas LIDEL*, (Portugal). Fevereiro 2011.
- [30] LAMARES, M. (2006); “Relatório de estágio sobre marcação CE em agregados: estudo comparativo entre as novas normas normativas europeias e os métodos de ensaio”, Laboratório central. MOTA-ENGIL engenharia e construções, SA, faculdade de engenharia do Porto, Porto (Portugal).
- [31] COSSOLINO, L.; PEREIRA, A. (2010); “Informativo Técnico-Científico ITC04-Amortecimento/ATCP: Amortecimento: classificação e métodos de determinação”. ATPCP Engenharia Física, São Carlos (Brasil).
- [32] VARUM, H.; COSTA, A.; PERREIRA, H.; ALMEIDA, J.; RODRIGUES, H. (2008); “Caracterização do comportamento estrutural de paredes de alvenaria de adobe”. *Revista da Associação Portuguesa de análise experimental de tensões*, ISSN 1646-7078. (Portugal)

REFERÊNCIAS FOTOGRÁFICAS

- [33] <http://imagensgratis.com.br/muralha-da-china>.
- [34] <http://listenonlinequran.blogspot.pt/2012/11/djenna-mosque-in-timbuktu-mali.html>
- [35] <http://www.cienciabraganca.pt/index.php?pagina=nav/tecnologias-show&id=412>
<http://www.celina-tours.com/passeios-pe-lisboa-passeios-alfama-baixa-chiado-lisboa-tours.php>
- [36] <http://sometimes-interesting.com/2011/06/29/the-manhattan-of-the-desert-shibam/>
- [37] <http://arquiteturaportuguesa.blogspot.pt/2012/08/aveiro.html>, http://pt.wikipedia.org/wiki/Casa_do_Major_Pessoa
- [38] http://fugas.publico.pt/Viagens/295523_viagem-pelas-mais-belas-estacoes-de-comboio
- [39] <http://www.diarioaveiro.pt/noticias/fabrica-da-ciencia-viva-reabre-hoje-ao-publico>
<http://www.terranova.pt>
- [40] <http://netin.es.eipcb.pt>
- [41] <http://www.casaprefabricada.org>
- [42] <http://www.ecoeficientes.com.br>
- [43] <http://home.olympus.net/buckley/honduras/coop.html>;
http://www.fastonline.org/cd3wd_40/cd3wd/construc/sk01ae/es/sk01ms0i.htm

